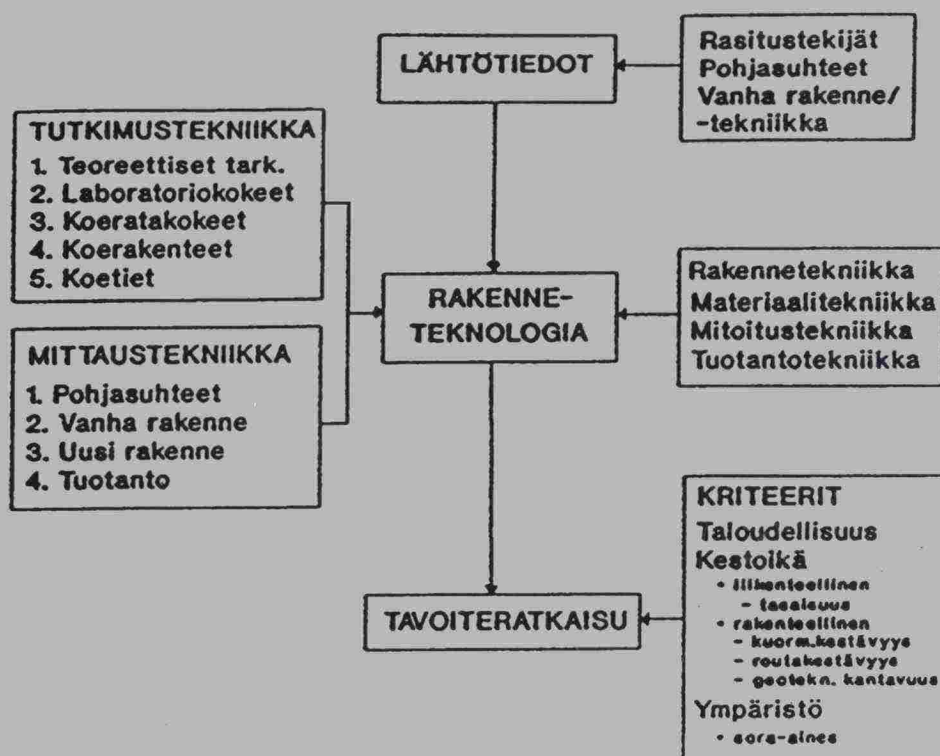




Tielaitos

# Tien pohja- ja päällysrakenteet - tutkimusohjelma (TPPT)

Perussuunnitelma



Tielaitoksen  
selvityksiä

68/1992

Helsinki 1992

Tiehallitus

Tielaitoksen selvityksiä  
68/1992

**Tien pohja- ja päällysrakenteet  
- tutkimusohjelma (TPPT)**

Perussuunnitelma

**Tielaitos**  
Tiehallitus

Helsinki 1992

ISBN 951-47-6846-9  
ISSN 0788-3722  
TIEL 3200118

Valtion painatuskeskus  
Pasilan VALTIMO  
Helsinki 1992

Julkaisua myy:  
Tiehallitus, painotuotevarasto  
Telefax (90) 1487 2698

**Tielaitos**

Tiehallitus  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde (90) 148 721

## Tiivistelmä

Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelman (TPPT) tavoitteena on sekä uusien että peruskorjattavien teiden liikennöitävyyden ja kestoian parantaminen siten, että vuosikustannukset alenevat ja ympäristölle aiheutuvat haitat minimoituvat. Teiden liikennöitävyyttä kuvataan tierakenteen toiminnan liikenteellisellä (tasaisuus) ja rakenteellisilla (kuormituskestävyys, routakestävyys, geotekninen kantavuus) ominaisuuksilla.

Tavoitteet saavutetaan kokonaisvaltaisella tutkimusohjelmalla, jonka lähtökohtana on sekä kotimainen että kansainvälinen nykytietämys. Tutkimusohjelman tuloksena ovat uudet:

1. Rakennerratkaisut
2. Suunnittelu- ja mitoitusohjeet
3. Laadunvalvontajärjestelmät
4. Työtekniset menetelmät
5. Ympäristön suojeluohjeet.

Tulokset sisältävät mm. seuraavat asiat:

- \* sellaiset rakennerratkaisut, joilla varmistetaan entistä kestävämmät ja taloudellisemmat päälly- ja pohjarakenteet
- \* tienrakennusmateriaalien uudenlainen hallinta, sisältäen mm. heikkolaatuiset materiaalit, pehmeät maa-ainekset, geosynteettiset tuotteet sekä teollisuuden sivutuotteet
- \* materiaalien toiminnallisten ominaisuuksien hallinta eri rasiustiloissa ja olosuhteissa sekä materiaalimallit materiaalien käyttäytymisen arvioimiseksi
- \* entistä tarkemmat ja luotettavammat tierakenteiden mitoitusmenetelmät tasaisuuden, kuormituskestävyyden, routivuuden sekä painumien suhteen
- \* tierakenteisiin kohdistuvien liikenne- ja ilmastorasitusten vaikutukset rakenteiden käyttäytymiseen ja vaurioitumiseen hallitaan nykyistä tarkemmin
- \* tien toiminnallisiin ominaisuuksiin liittyvät uudet laatukriteerit, joiden avulla tierakenteen laadussa tapahtuvat vaihtelut saadaan hallintaan
- \* uudet tuotantotekniset menetelmät teiden rakentamiseen



\* uuden teknologian soveltaminen mittaustekniikassa, minkä tuloksena saadaan entistä luotettavampia ja tarkemmat lähtötiedot rakenteiden suunnittelua ja laadunvalvontaa varten

\* uudet laitteet ja menetelmät, joiden avulla voidaan testata rakenteiden kestävyyttä hallituissa olosuhteissa (esim. koetiekone)

\* eri osa-alojen tietämykseen pohjautuva ja elinkaarianalyysiin perustuva kokonaisvaltainen järjestelmä, jonka avulla rakenneteknologia hallitaan nykyistä paremmin.

Tutkimus toteutetaan nykytilaselvityksen, teoreettisten laskelmien (esim. mallien simulointi), laboratoriokokeiden, koeratakokeiden/mallikokeiden sekä koeteiden tuottamien tulosten pohjalta. Tutkimuksessa hyödynnetään käynnissä olevat ja aihepiiriin liittyvät kotimaiset ja kansainväliset tukimusprojektit ja -ohjelmat. Tutkimus ehdotetaan toteutettavaksi vuosina 1993 - 2000 kokonaiskustannusten ollessa 45,5 Mmk. Tutkimusohjelman toteuttamiseen osallistuvat kaikki alan asiantuntijat (VTT, korkeakoulut, tielaitos, konsulttitoimistot, teollisuus jne.).

## Alkusanat

Monivuotisen ASTO-tutkimuksen lähestyessä loppuaan heräsivät ajatukset vastaavan keskitetyn tutkimusponnistuksen kohdistamisesta myös päällysteen alapuolisiin kerroksiin. Tutkimustarvetta korostivat tienpitotoiminnan taloudellisuus- ja tehokkuusvaatimukset, perinteisten hyvien tienpitomateriaalien saatavuuden vaikeutuminen ja ympäristöhaittojen vähentämisvaatimukset. Koska eri liikennealueiden rakenteiden ongelmissa ja ratkaisumahdollisuuksissa on paljon yhteistä, päätettiin pyrkiä voimavarojen tarkoituksenmukaiseen yhdistämiseen. Kysymys on myös hyvin laaja-alaisista ja vaikeasti selvitettävistä asioista ja tutkimusohjelma on siksi suunniteltava perusteellisesti.

Maaliskuussa 1991 tutkimushankkeen valmistelun koordinointi sovittiin liikenneministeriössä pidetyssä kokouksessa tiehallituksen tehtäväksi. Maarakennusalan neuvottelukunnan (MANK) aloitteesta tehtiin liikennealueiden rakenteiden ja geotekniikan kohdistamistutkimus eli ns. LARGE-projekti, jonka raportti valmistui vuoden 1991 loppupuolella. Raportissa tarkasteltiin liikennealueiden kantavien rakenteiden ja geoteknisten kysymysten tutkimus- ja kehittämistarpeita, mahdollisuuksia, tutkimuksen kustannuksia ja niiden avulla saatavissa olevia hyötyjä. Raportista saatujen kannanottojen perusteella kävi selväksi, että rahoitus- ja osallistuspäätösten pohjaksi tarvitaan tarkemmin toteutustavaltaan määriteltäviä ja hyödyiltään konkretisoituja projektiehdotuksia. Tätä tarkentamistyötä varten tutkimushanke jaettiin kahteen osaan: 1) teknologiaosa 2) laatu- ja prosessiosa.

Teknologiaosan tiealueita koskevan perussuunnitelman eli Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelman tiehallitus tilasi VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratoriolta. Perussuunnitelman laatimistyöstä on informoitu eri liikennealueiden (tiet, kadut, rautatiet, lentokentät, piha-alueet), tutkimuslaitosten, korkeakoulujen, konsulttien, urakoitsijoiden ja rakennusteollisuuden edustajia. Perussuunnitelman luonnoksesta on myös saatu näiden eri intressitahojen näkökantoja. Näkökannat on mahdollisuuksien mukaan pyritty ottamaan huomioon nyt valmistuneessa perussuunnitelmassa. Tiehallitus toivoo sen täyttävän tehtävänsä ja edistävän laajuudeltaan mahdollisimman tarkoituksenmukaisen ja eri osapuolten intressejä palvelevan tutkimushankkeen syntymistä.

Tiehallituksessa 30.10.1992

Ylijohtaja

Jarkko Saisto

## Sisältö

1 JOHDANTO	9
2 TUTKIMUSTARVE	10
2.1 Nykytila	10
2.2 Tulevaisuuden tietyöt	11
3 TUTKIMUKSEN TAVOITE JA TULEVAISUUDEN MAHDOLLISUUDET	13
4 TUTKIMUSALUEET JA -AIHEET	15
4.1 Tutkimuskokonaisuus	15
4.2 Lähtötiedot	16
4.2.1 Rastustekijät	16
4.2.2 Luonnontilainen maapohja	19
4.2.3 Vanha tierakenne	20
4.2.4 Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin	21
4.2.5 Tulokset	21
4.3 Rakenneteknologia	22
4.3.1 Rakennetekniikka	22
4.3.1.1 Rakennetekniikan kehittämisen suuntaviivat	22
4.3.1.2 Päällysrakenteet	23
4.3.1.3 Pohjarakenteet	24
4.3.1.4 Routasuojusrakenteet	25
4.3.1.5 Kuivatusrakenteet	25
4.3.1.6 Vanhat tierakenteet	26
4.3.1.7 Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin	26
4.3.1.8 Tulokset	26
4.3.2 Materiaalitekniikka	27
4.3.2.1 Materiaalitekniset mahdollisuudet	27
4.3.2.2 Materiaalien toiminnalliset ominaisuudet	28
4.3.2.3 Materiaalimallit	29
4.3.2.4 Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin	29
4.3.2.5 Tulokset	29
4.3.3 Mitoitustekniikka	30
4.3.3.1 Kuormituskestävyysmitoitus	30
4.3.3.2 Routamitoitus	31
4.3.3.3 Pohjarakenteen painumamitoitus	32
4.3.3.4 Menetelmäkohtaiset mitoitusmallit	32

4.3.3.5	Alus- ja päällysrakenteen yhteisvaikutuksen mallintaminen	33
4.3.3.6	Luotettavuusanalyysit	33
4.3.3.7	Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin	34
4.3.3.8	Tulokset	34
4.3.4	Tuotantotekniikka	34
4.3.4.1	Laadun ohjaus ja laatutavoitteet	35
4.3.4.2	Taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät	36
4.3.4.3	Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin	37
4.3.4.4	Tulokset	38
4.3.5	Mittaustekniikka	38
4.3.5.1	Ainetta rikkomattomat menetelmät	39
4.3.5.2	Ainetta rikkovat menetelmät	39
4.3.5.3	Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin	40
4.3.5.4	Tulokset	40
4.4	Tutkimustekniikka	41
4.4.1	Koesuunnittelu	41
4.4.2	Teoreettiset laskelmat	42
4.4.3	Laboratorio- ja kenttäkokeet	42
4.4.4	Koeratakokeet ja koetiet	42
4.4.5	Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin	43
4.4.6	Projektikuvaus	43
5	TAVOITEKRITERIT	44
5.1	Tierakenteen toiminnallisten ominaisuuksien hallitseminen	44
5.2	Taloudellisuus	46
5.3	Ympäristö	47
5.4	Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin	47
5.5	Tulokset	47
6	KOTIMAINEN JA ULKOMAINEN TUTKIMUSTOIMINTA TPPT-ALUEELLA	48
7	AIKATAULU, BUDJETTI JA RESURSSIT	50
8	ORGANISAATIO JA TUTKIMUSOHJELMAN KÄYNNISTÄMINEN	53
9	KIRJALLISUUSLUETTELO	56
	LIITTEET	



## 1 JOHDANTO

Perussuunnitelman laadinnan tarkoituksena on tehdä ehdotus Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelman (TPPT) strategiseksi suunnitelmaksi, jossa esitetään miten tutkimuskokonaisuus rakennetaan ja toteutetaan sekä mitkä ovat sen kustannukset.

Perussuunnitelma on laadittu kuuden asiantuntijaryhmän valmistelemien erillisten tutkimusraporttien pohjalta. Asiantuntijaryhmät ovat olleet seuraavilta tutkimuksen osa-alueilta: sidotut kerrokset, sitomattomat kerrokset, tien pohjarakenteet, routiminen, kuivatustekniikat ja rakenteen kokonaistoiminta. Asiantuntijaryhmien laatimat raportit on koottu yhdeksi julkaisuksi, jossa on täydentävää tietoa perussuunnitelmassa esitettyjen tutkimusprojektien taustaksi /1/. Tutkimusohjelman asiantuntijaryhmien sekä johto- ja ohjausryhmän kokoonpanot on esitetty *liitteessä 1*.

Perussuunnitelmassa on esitetty lista tutkimusalueista rasiustekijöiden, rakennetekniikan, materiaalitekniikan, mitoitustekniikan, tuotantotekniikan sekä mittaus- ja tutkimustekniikan osalta. Lisäksi on kuvattu eri projektien keskinäiset yhteydet. Projektien yksityiskohtainen sisältökuvaus tehdään myöhemmin varsinaisessa tutkimusohjelmassa.

Tutkimusalueiden priorisointia ei ole ollut mahdollista tehdä vielä perussuunnitelmavaiheessa. Priorisointi tehdään vasta eri tutkimusalojen perusteiden selvittämisen jälkeen, jolloin tähän on olemassa riittävät tiedolliset edellytykset. Näin varmistetaan, että uutta tietoa tuottavia potentiaalisia tutkimushankkeita ei karsita pois ennakkoarvioinnista. Yleisenä lähtökohtana on kuitenkin se, että tutkittavat asiat ovat sidoksissa ja loogisessa yhteydessä tavoitekriteereihin eli tierakenteen kestävyys, taloudellisuuteen ja ympäristöön.

Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelman toteuttaminen tukee alan yleistä kehitystä tarjoamalla uusia ratkaisuja nykyisten ongelmien ratkaisemiseksi. Tutkimus ei tule hidastamaan tällä hetkellä käynnissä olevia muita alaan liittyviä tutkimus- ja kehittämishankkeita, vaan ne tukevat omalta osaltaan kokonaisuohjelmaan liittyviä tutkimuskokonaisuuksia. Lähtökohtana on uuden tietämyksen ja teknologian kehittäminen olemassa olevan tiedon pohjalta. Tämä varmistaa sen, että nykyinen tietämys hyödynnetään parhaalla mahdollisella tavalla uuden tiedon tuottamisessa, mikä luo hyvät edellytykset entistä paremman ja taloudellisemman lopputuloksen aikaansaamiseksi.

## 2 TUTKIMUSTARVE

### 2.1 Nykytila

Suomessa teiden rakentamiseen vaikuttaa määräävästi liikenteen kuormitus, joka yhdessä ilmastollisten tekijöiden ja pienipiirteisesti vaihtelevan maaperän kanssa asettaa tierakenteen hallitulle toimivuudelle suuret vaatimukset. Tämän vuoksi nykyisistä tierakenteista on muodostunut massiivisia kokonaisuuksia, jotka ovat johtaneet ympäristöllisesti arvokkaiden maastokohtien (lähistön sora- ja kallioalueet) suurisuuntaiseen käyttöön. Lisäksi nykyinen rakennesuunnittelu on perustunut pitkälti perinteisiin rakenneratkaisuvalintoihin, minkä seurauksena uuden teknologian mukaisia sidottuja rakenteita (komposiitti- ja yhdistelmärakenteet) ei ole laajasti sovellettu käytäntöön. Erityisesti korjausrakentamiseen liittyvien erityisongelmien (esim. tien leventäminen) ratkaisemiseksi vaadittavaa tietoutta ei ole riittävässä määrin.

Nykyisissä tierakenteissa on käytetty korkealuokkaisia materiaaleja erityisesti sitomattomissa kerroksissa. Tulevaisuudessa hyvälaatuisia sitomattomia materiaaleja ei ole enään saatavissa samassa laajuudessa ja yhtä taloudellisesti kuin ennen.

Pehmeiden maa-ainesten (savet, siltit jne.) hyödyntäminen on ollut vähäistä. Pehmeitä maa-aineita poistetaan leikkauskohdissa sekä massanvaihtokohdissa ja tilalle tuodaan arvokkaampia karkearakeisia maa-aineita. Pehmeiden maa-ainesten hallittu käyttö antaa mahdollisuuden tierakentamisen kustannusten alentamiseen.

Päällysrakenteen sidottujen materiaalien osalta aikaisempi tutkimus on keskittynyt pääasiassa päällysteiden kulumiskestävyyden parantamiseen. Tämän vuoksi sidottujen materiaalien ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia tierakenteiden kantavissa kerroksissa ei ole systemaattisesti selvitetty. Myös synteettisten materiaalien käyttö päällysteissä sekä kantavissa rakennekerroksissa on ollut tähän saakka vähäistä. Pohjarakenteiden osalta uusiin stabilointitekniikoihin liittyvän tutkimus- ja kehitystyön vähäisyys sekä suunnittelu-, rakentamis- ja laadunvarmistusohjeiden puuttuminen on johtanut menetelmien mahdollisuuksiin nähden vaatimattomaan hyödyntämiseen.

Tavanomaisilla tierakenteilla nykyinen kuormitusmitoitusmenetelmä antaa suhteellisen järkeviä tuloksia. Mitoitusmenetelmän tuottamat tulokset eivät ole kuitenkaan aina luotettavia liikennesäätömuutoksen muuttuessa (kokonais- ja akselipainojen kasvu sekä ei-tieystävällisten akselisto- ja rengasratkaisujen lisääntyminen käyttöön) sekä käytettäessä uusia rakenneratkaisuja ja/tai tavanomai-



sesta poikkeavia materiaaleja. Myöskään mitoituksen lähtötietoina tarvittavia materiaaliparametrejä ei tunneta tällä hetkellä riittävän tarkasti.

Liikennealueiden pohjatutkimuskäytäntö on Suomessa pysynyt muuttumattomana vuosikymmeniä. Mittaustekniikassa tapahtunut nopea kehitys on vain osittain heijastunut pohjatutkimusmenetelmiin suurimman osan suunnitelmista pohjautuessa edelleen sisällöltään niukkoihin pohjatutkimustietoihin.

Tierakentamisen tuotantotekniikalla on merkittävä vaikutus lopputuotteen laatuun ja kustannuksiin. Valmiin rakenteen laadussa (mm. rakennepaksuudet, materiaalimoduulit) tapahtuvat hallitsemattomat vaihtelut ovat liian usein syynä tierakenteen ennen aikaiseen vaurioitumiseen ja palvelutason heikkenemiseen.

## 2.2 Tulevaisuuden tietyöt

Nykyisten massiivisten tierakenteiden tilalle tarvitaan uusia, entistä taloudellisempia, kestävämpiä ja ympäristöystävällisempiä rakenneratkaisuja, jotka perustuvat sekä päälly- että pohjarakenteiden yhteistoimintaan. Myös korjausrakentamisen määrällisesti kasvaessa tulee kehittää uusia rakenneratkaisuja, jotka ovat nopeasti toteutettavissa (liikenteen haitan minimointi) ja joiden avulla hallitaan parantamisesta (esim. tien levantäminen) aiheutuvat erityisongelmat kuten esimerkiksi epätasainen routiminen ja painuminen.

Rakennetekniikassa hyödynnetään yhä enemmän mm. stabilointitekniikkaa (esim. bitumistabilointi, sementtistabilointi, syvästabilointi) ja betonitekniikkaa tierakenteiden toteutuksessa. Myös geosynteettisten tuotteiden käyttö tulee kasvamaan selkeästi. Lisäksi erikoisrakenteet (kuivatusrakenteet, routarakenteet) antavat entistä paremmat mahdollisuudet paikallisten olosuhteiden huomioon ottamiselle suunnittelussa ja rakentamisessa. Esim. kuivatuksen osalta tien runko kuivatetaan karkearakeisten kerrosten ja/tai salaojitusmattojen avulla. Kuivatusrakenteiden lisäksi käytetään myös vesieristysrakenteita.

Materiaalitekniikassa siirrytään yhä suuremmassa määrin korvaavien materiaalien käyttöön (esim. moreeni), mikä vähentää soran ja muiden kiviainesten tarvetta tienrakennusmateriaalina. Myös teollisuuden sivutuotteita ja jätemateriaaleja hyödynnetään nykyistä laajemmin ja systemaattisemmin tienrakennuksessa. Osa sivutuotteista tullaan jalostamaan sideaineeksi, osa käytetään maarakentamiseen sellaisenaan ja osa otetaan käsittelyn (jalostamisen) jälkeen käyttöön.

Pehmeiden maa-ainesten (savi, siltti, lieju, turve) käyttöä tienrakennuksessa tullaan lisäämään stabilointiteknologian avulla. Tällä säästetään kustannusten



lisäksi soravaroja sekä muita kiviaineksia ympäristöhaittojen samalla vähentyessä.

Tierakenteen mitoituksessa otetaan huomioon alus- ja päällysrakenteen yhteisvaikutus rakenteen kokonaiskäyttämisen kannalta. Tämän tuloksena rakenteen toiminta hallitaan riittävällä tarkkuudella tasaisuuden, kuormituskestävyyden, routivuuden sekä geoteknisen kantavuuden suhteen taloudellisen lopputuloksen aikaansaamiseksi. Mitoituksen lähtötietoina käytetään nykyistä tarkempia materiaaalimalleja, joiden perusteella rakenteen toiminnalliset ominaisuudet voidaan analysoida. Myös menetelmäkohtaisten (pohjanvahvistusrakenteet, leikkausluiskat jne.) mitoitusmallien käyttö yleistyy. Lisäksi mitoitusmenetelmiin kuuluvat osana luotettavuusanalyysit, joiden perusteella voidaan suunnittelukriteerinä ottaa huomioon rakenteen vaurioitumisen todennäköisyys eli riskitaso. Tietoja käytetään hyväksi kehitettävässä tierakenteen elinkaariajatteluun perustuvassa analysointijärjestelmässä.

Tierakenteen nykyistä parempi laatu ja taloudellisuus varmistetaan uusien koneiden ja laitteiden, mittaustekniikan, työ- ja suunnittelutekniikan, laatujärjestelmien, urakkamuotojen sekä tuotannon ajoituksen avulla. Laadun paranemisen tuloksena tierakenteen eri osatekijöiden ominaisuuksien vaihtelut pienenevät, minkä seurauksena tien ennenaikainen vaurioitumisriski pienenee.

Mittaustekniikan avulla varmistetaan materiaalien ja rakenteiden toiminnalliset ominaisuudet sekä laboratoriossa että kentällä. Pohjatutkimuksessa käytetään pitkälle kehitettyjä menetelmiä, joiden avulla saadaan tierakenteiden mitoitukseen lisää tarkkuutta ja laadukkaampi lopputulos.

### 3 TUTKIMUKSEN TAVOITE JA TULEVAISUUDEN MAHDOLLISUUDET

Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelman yleisenä tavoitteena on sekä uusien että peruskorjattavien teiden liikennöitävyyden parantaminen siten, että vuosikustannukset alenevat ja ympäristölle aiheutuvat haitat minimoituvat. Teiden liikennöitävyyttä kuvataan tierakenteen toiminnallisilla ominaisuuksilla liikenteen kannalta (tasaisuus/palvelutaso) ja tierakenteen kannalta (kuormituskestävyys, routakestävyys, geotekninen kantavuus). Geoteknisellä kantavuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä pohjarakenteiden painumisominaisuuksia.

Tutkimukselle asetetut erityistavoitteet ovat:

1. Tienpidon taloudellisuuden parantaminen uusien teiden osalta 10 % ja parannettavien teiden osalta 5 % vuoden 1991 tasoon verrattuna vuosikustannusperiaatteella mitattuna.
2. Liikennöitävyyden parantaminen tien ennakoimattomien virheidä ja vaurioiden (rakenne-, routa-, painuma-, sortuma- yms. vauriot) parantamiskustannusten vähentyessä puoleen vuoteen 1996 mennessä.
3. Ympäristöhaittojen vähentäminen soramateriaalien käytön vähentämisen ja hukkamateriaalien käytön lisäämisen tuloksena (numeerista tavoitetta ei vielä asetettu).

Tavoitteet saavutetaan kehittämällä sellaiset rakenneratkaisut, suunnittelu- ja mitoitusohjeet, tuotantotekniikat, laadunvalvontajärjestelmät sekä ympäristön suojeluohjeet, joita tilanteen mukaan oikein käytettynä ja sovellettuna tierakenteen toiminta hallitaan eri rasiustiloissa odotetulla tavalla ympäristöä kohtuuttomasti rasittamatta.

Tavoitteiden toteuttaminen on mahdollista rakenneteknologiaan liittyvällä kokonaisvaltaisella tutkimusohjelmalla, jossa liikenneväylää tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena pohjarakenteista pintaan asti. Koko rakennesysteemi on mahdollista saada toimimaan riittävällä ja halutulla tarkkuudella, kun eri osatekijöiden sekä yksittäinen että yhteinen merkitys kokonaisuuteen tunnetaan.

Tierakenteiden toimivuuden paraneminen perustuu uuden teknologian soveltamiseen sekä rakennetekniikkaan, materiaalitekniikkaan, mitoitus-

niikkaan, tuotantotekniikkaan että myös mittaustekniikkaan ja näin saatujen tulosten hyväksikäyttöön ja yhteensovittamiseen.

Nykyinen suunnittelu- ja mitoituskäytäntö, jonka kehittäminen on muokannut myös nykyiset tuotanto- ja laadunvarmistusmenetelmät, ei ole edistänyt uusien rakenneratkaisujen kehittämistä riittävässä määrin. Ainoa tie muutokseen ja kehitykseen on pureutua siihen, miten tierakenne todella fysikaalisesti toimii eri rasiustiloissa. Jos fysikaalisten ilmiöiden todellinen luonne voidaan nykyistä paremmin mallintaa, voidaan myös uusia toimivia rakenneratkaisuja kehittää.

Tutkimuksessa selvitetään rakenteiden toimivuutta eri rasiustiloissa sekä teorian, laboratoriokokeiden, koeratakokeiden, mallikokeiden että koerakenteiden avulla hallituissa olosuhteissa. Kenttäkokeiden avulla varmistetaan rakenteiden todellinen toimivuus luonnollisissa olosuhteissa ja rasiustiloissa. Tutkimuksessa hyödynnetään huipputeknologian viime saavutuksia mittaustekniikan osalta.

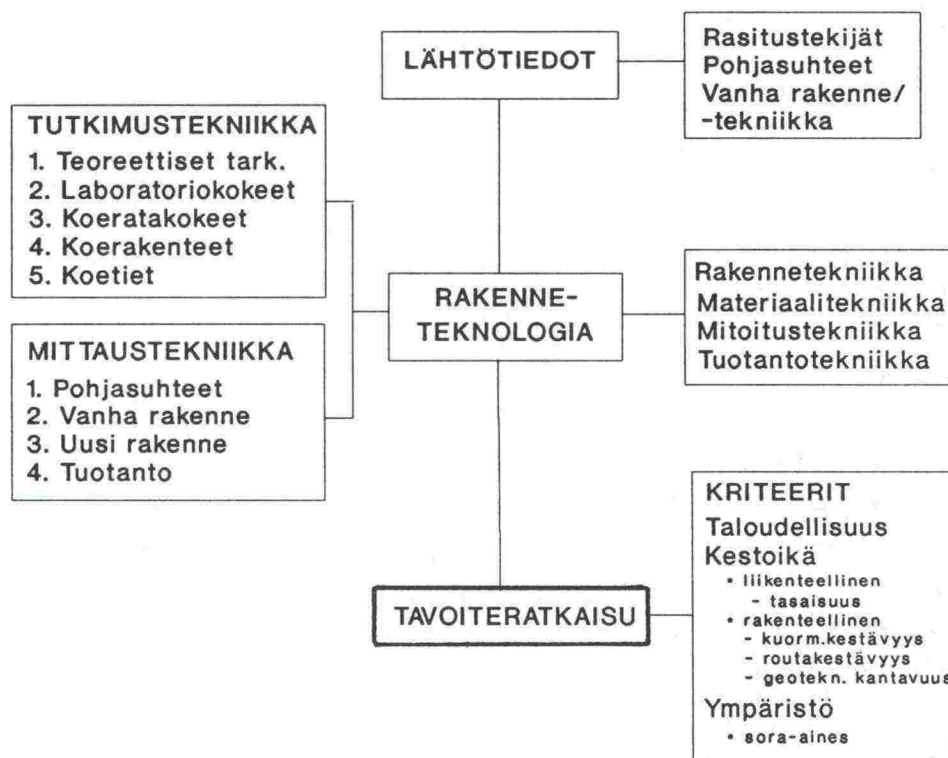
Eri tutkimusalojen tulokset yhdistetään siten, että ne muodostavat systemaattisen järjestelmän, jonka avulla tienpidon tavoitteet saavutetaan. Tällä varmistetaan, että yksittäiset tutkimushankkeet eivät jää irrallisiksi toisistaan, vaan ne palvelevat kokonaisuutta ollen loogisessa suhteessa toisiinsa.



## 4 TUTKIMUSALUEET JA -AIHEET

### 4.1 Tutkimuskokonaisuus

Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelman päävaiheet on esitetty *kuvassa 1*. Kokonaisuuden lähtötilanteena on nykyinen suunnittelu- ja rakentamiskäytäntö, jota parannetaan rakenneteknologiaan liittyvällä tutkimus- ja kehittämistyöllä sekä hyödyntämällä uusien tutkimus- ja mittaustekniikoiden luomat mahdollisuudet. Näin saavutetaan tavoiteratkaisut, joiden kriteereinä ovat taloudellisuus, kestävyys sekä ympäristölliset tekijät.



Kuva 1: Tutkimuskokonaisuus.

Tutkimukseen liittyvät lähtötiedot käsittävät liikenteestä ja ilmastosta aiheutuvat rasitustekijät, luonnolliseen maapohjaan ja muihin olosuhdetekijöihin liittyvät tiedot sekä peruskorjauksen osalta vanhan tierakenteen tiedot. Rakenneteknologiaan liittyvät uusien rakenneratkaisujen ideointi ja kehittäminen, uudet materiaalit, alus- ja päällysrakenteen yhteistoimivuuden huomioon ottavat mitoitusmenetelmät, uudet tuotantotekniset ratkaisut sekä uusien tutkimustekniikoiden ja -menetelmien innovointi ja kehittäminen.

Tutkimuskokonaisuuden lähtökohtana on nykytietämyksen hallinta ja hyödyntäminen mahdollisimman pitkälle, minkä pohjalta uuden teknologian kehittäminen käynnistetään. Seuraavassa tarkastellaan yksityiskohtaisemmin tutkimuskokonaisuuden osa-alueita projekteittain. Yhteenvedo eri projektien keskinäisistä yhteyksistä on esitetty raportin lopussa kappaleessa 5 Tavoitekriteerit (kuva 3).

## 4.2 Lähtötiedot

Tutkimuksessa selvitetään tehtäväkenttään liittyvät lähtötiedot, jotka muodostavat perustan rakenneteknologiassa käsiteltäville projekteille. Tarkasteltavia lähtötietoja ovat rasisutustekijät, maapohjatiedot sekä peruskorjauksessa vanhan tierakenteen ominaisuustiedot.

### 4.2.1 Rasisutustekijät

Rasisutustekijöiden tunteminen ja hallitseminen on tutkimusten suorittamisen perusedellytyksenä. Tutkimuksessa selvitetään ja kvantifioidaan ne tekijät, jotka vaikuttavat tierakenteen toimintaan ja kestävyYTEEN. Rasisutustekijöitä ovat sekä liikenteestä että ilmastosta aiheutuvat rasisutukset.

#### Liikenne

Merkittävin tierakennetta kuormittava tekijä on liikenne, josta aiheutuvat rasisutukset ilmenevät päällyys- ja pohjarakenteisiin kohdistuvina jännityksinä ja muodonmuutoksina. Raskaan liikenteen rasisutusvaikutukset ovat lisääntyneet ajoneuvojen akseli- ja kokonaispainojen kasvun sekä uusien rengas- ja akselistoratkaisujen seurauksena. Myös tienpinnan tasaisuudella on merkittävä vaikutus liikennerasitusten suuruuteen.

#### Projekti RAS-1:

##### Liikennerasitukset

Tutkimuksessa määritetään liikennerasitusten suuruuteen vaikuttavat ajoneuvotekniset tekijät. Näitä ovat ajoneuvojen ominaisuuksista mm. jousitus, akselityypit, akselipainot, rengastyypit, rengaspaineet ja rengasyhdistelmät.

Tutkimuksessa selvitetään myös em. tekijöiden vaikutusten suuruudet tierakenteen käyttäytymiseen (mm. päällysteen alapinnan vetomuodonmuutos sekä pohjamaan pinnan vertikaalinen muodonmuutos/jännitys). Tarkastelu tehdään systemaattisesti ottaen huomioon erilaiset rakenteet ja olosuhteet.

Rasitustekijöiden hallitsemisen kautta määritetään eri ajoneuvojen ja akseleiden vastaavuuskertoimet, joita käytetään hyväksi muutettaessa liikennekuormitus standardiakseleiden lukumääräksi kuormituskertaluvun laskemista varten.

Kuormituskertaluvun laskennassa otetaan huomioon menetelmät, joiden perusteella voidaan arvioida liikennemäärän ennustamiseen liittyvät epävarmuustekijät, jotka aiheuttavat poikkeamia todellisiin kuormituskertojen lukumäärään (projekti MIT-6, luotettavuustekijät). Tutkimuksessa analysoidaan nykyiset liikenteen määrään ja akselipainojakaumiin liittyvät lähtötiedot mm. WIM-vaakojen tuottaman tiedon perusteella.

Tutkimus tehdään teoreettisen tarkastelun sekä koeradan/koerakenteiden ja kenttäkokeiden perusteella.

#### Projekti RAS-2:

##### Tienpinnan ominaisuuksien vaikutukset liikennesäätelyyn

Tien epätasainen pinta aiheuttaa tierakenteeseen dynaamisia rasituksia, jotka ovat kymmeniä prosentteja suurempia kuin rasitusvaikutukset tasaisella tienpinnalla. Tutkimuksessa selvitetään, kuinka suuria rasituksia tienpinnan epätasaisuus aiheuttaa rakenteelle, ja miten ajoneuvotekniset ominaisuudet vaikuttavat niiden suuruuteen. Myös poikkileikkauksen leveyden vaikutusta tien rasitukseen tutkitaan tässä yhteydessä. Tietous hyödynnetään mm. kuormituskertaluvun laskennassa.

Tutkimus tehdään teoreettisen tarkastelun sekä koerakenteiden ja kenttäkokeiden perusteella.

#### **Ilmasto**

Ilmastollisilla muuttujilla tarkoitetaan lämpötilasta ja vedestä aiheutuvia tekijöitä, joilla on merkittävä vaikutus teiden päälly- ja pohjarakenteiden käyttäytymiseen Suomessa. Ilmastotekijöiden välittömiä vaikutuksia sekä liikenteen ja ilmaston yhdysvaikutuksia rakenteen käyttäytymisen kannalta ei hallita tällä hetkellä riittävän hyvin, jotta ne voitaisiin ottaa halutulla tarkkuudella huomioon rakenteiden suunnittelussa.

#### Projekti RAS-3:

##### Lämpötilamuutokset tierakenteessa ja niiden mallintaminen

Lämpötilassa tapahtuvat muutokset vaikuttavat voimakkaasti tierakenteen käyttäytymiseen. Tämä ilmenee suurina liikennesäätelyjen vuodenaikais-



vaihteluina johtuen materiaalien ja rakenteen ominaisuuksissa tapahtuvista muutoksista vesipitoisuuden ja lämpötilan muutosten seurauksena.

Tutkimuksessa määritetään tierakenteen lämpökäyttäytymiseen vaikuttavat tekijät (ilmastotiedot, materiaaliominaisuudet, rakenteet, vesipitoisuus jne.). Lisäksi kartoitetaan ja analysoidaan olemassa olevat laskentamallit, joiden perusteella voidaan määrittää tierakenteen (alus- ja päällysrakenne) lämpötilajakaumat (jäätynyt/sulanut tila) ajan funktiona käyttäen lähtötietoina olemassa olevia lämpötilatilastoja. Mallien vertailussa otetaan huomioon mm. lähtötietojen saatavuus sekä niiden tuottamien tulosten tarkkuus ja luotettavuus (vertailu koerakenteissa mitattuihin arvoihin) sekä käyttötarkoitus.

Vertailun tuloksena saadaan kuva mallien mahdollisista muutostarpeista, minkä jälkeen tehdään tarkennetut suunnitelmat Suomen olosuhteisiin soveltuvan lämpötilamallin jatkokehittämiseksi/valitsemiseksi.

Tutkimus tehdään teoreettisen tarkastelun (mallien simulointi) sekä laboratorio- ja kenttäkokeiden perusteella.

#### Projekti RAS-4:

##### Kosteustilan muutokset tierakenteessa ja niiden mallintaminen

Tien rakennemateriaalien ominaisuudet muuttuvat materiaalien vesipitoisuuksien muuttuessa. Tämän vuoksi tierakenteessa olevalla kosteudella on merkittävä vaikutus mm. pohja- ja päällysrakenteen kuormituskestävyyteen ja routimiseen.

Projektissa tutkitaan veden vaikutusten arvioimiseksi ne tärkeimmät syyt ja mekanismit, jotka ohjaavat veden kulkeutumista rakenteeseen ja rakenteen sisällä. Lisäksi kartoitetaan ja analysoidaan olemassa olevat laskentamallit, joiden avulla voidaan simuloida kosteuden kulkeutumista rakenteessa ajan funktiona käyttäen lähtötietoina mm. olemassa olevia sademäärätilastoja. Vertailussa otetaan huomioon mallien tarvitsemien lähtötietojen saatavuus sekä niiden tuottamien tulosten tarkkuus ja luotettavuus (vertailu koerakenteissa mitattuihin arvoihin) sekä käyttötarkoitus.

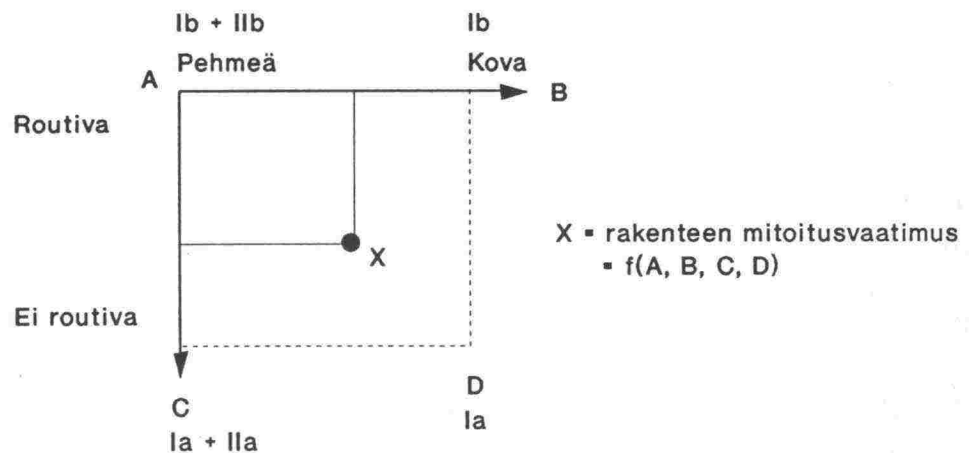
Vertailun tuloksena saadaan kuva mallien mahdollisista muutostarpeista, minkä jälkeen tehdään tarkennetut suunnitelmat Suomen olosuhteisiin soveltuvan kosteustilamallin jatkokehittämiseksi/valitsemiseksi.

Tutkimus tehdään teoreettisen tarkastelun (mallien simulointi) sekä laboratorio- ja kenttäkokeiden perusteella.



## 4.2.2 Luonnontilainen maapohja

Luonnontilaisen maapohjan ominaisuudet vaikuttavat rakenneteknologiassa käsiteltäviin rakenne-, materiaali-, mitoitus- ja tuotantotekniiikkiin. Maapohjan ominaisuuksien perusteella voidaan päällysrakenteen suunnittelua ja vahvistamistarpeen arviointia ohjata oikeaan suuntaan sekä eliminoida epätarkoituksenmukaiset rakenneratkaisut tarkastelun ulkopuolelle (esim. heikko pohjamaa ja ohut päällysrakenne). Tavoitteena on sellaisen rakenneratkaisun toteutus, jolla rakenteen käyttäytyminen pysyy sallitulla tasolla vallitsevissa liikenne- ja ilmastokuormituksissa. Maapohjan ominaisuuksien ja rakenteen mitoitusvaatimuksen välinen yhteys on esitetty kaaviomuodossa kuvassa 2.



Rakenneratkaisun luonne:

Ei routiva pohjamaa

Routiva pohjamaa

Ia = Päällysrakenne

Ib = Päällysrakenne

IIa = Pohjarakenne

IIb = Pohjarakenne

Kuva 2: Periaatekuva maapohjan ja rakenteen mitoitusvaatimuksen välisestä yhteydestä.

Maapohjan routivuus- ja painumisominaisuudet muodostavat lähtökohdan rakenteiden mitoitukselle. Routivuutta on kuvattu kuvan 2 pystyakselilla, jossa maapohjan ominaisuudet vaihtelevat routivan ja ei routivan välillä. Vastaavasti maapohjan painumisherkkyttä on kuvattu vaaka-akselilla, jossa pohjan ominaisuudet vaihtelevat pehmeän ja kovan välillä.

Esimerkiksi pehmeillä ja routivilla maapohjilla pohjarakenteiden suunnittelulla ja routamitoituksella vaikutetaan merkittävästi tierakenteen toiminnallisiin ominaisuuksiin ja kestävyys (kuvan piste A, rakennekoodi Ib + IIb). Tällaisessa tapauksessa rakenneteknisinä ratkaisuna saattavat tulla kysymykseen kevennetyt rakenteet, joista on esitetty esimerkkejä liitteissä 2 ja 3.

Vastaavasti pehmeällä ja ei routivalla pohjamaalla (piste C, rakennekoodi Ia + IIa) suunnittelun avulla pyritään tierakenteen painumien ja kuormituskestävyyden hallitsemiseen (esimerkki rakenteesta liitteessä 3).

Kovalla ja ei routivalla pohjamaalla mitoituksen painopiste on puolestaan päällysrakenteen kuormituskestävyyden suunnittelussa (piste D, rakennekoodi Ia). Käytännön suunnittelutyössä ollaan usein em. ääritilanteiden välillä (kuvan piste X).

#### Projekti MAT-1:

##### Pohjamateriaalien toiminnalliset ominaisuudet

Tutkimuksessa selvitetään maapohjan osalta pohjamateriaalien toiminnalliset ominaisuudet, jotka muodostavat lähtötiedot rakenneteknologialle sekä laitteistot ja menetelmät ominaisuuksien mittaamiseksi erilaisissa rasi-tiloissa ja olosuhteissa.

Sitomattomien ja sidottujen pohjamateriaalien toiminnallisia ominaisuuksia ovat mm. lujuus-, muodonmuutos-, hydrauliset-, lämpötekniset-, routivuus-, pysyvyys- ja juoksettavuusominaisuudet. Ominaisuuksiin vaikuttavat sekä aika- että kuormitustekijät.

Pohjamateriaalien eri ominaisuuksia ja niiden yhdistelmiä selitetään erilaisilla materiaalmalleilla, joissa ko. ominaisuuksia kuvaavat empiiriset parametrit mitataan laboratoriossa ja maastossa (ks. kohta 4.3.2.3 Materiaalimallit).

Tutkimus tehdään teoreettisen tarkastelun avulla sekä laboratorio- ja koerakennetutkimuksena.

### **4.2.3 Vanha tierakenne**

Peruskorjauksen osuus nykyisessä tienrakennuksessa tulee kasvamaan. Tämän vuoksi vanhaan tierakenteeseen kohdistuva korjausrakentaminen tulee hallita nykyistä paremmin.

#### Projekti RAK-1:

##### Vanhan rakenteen toiminnalliset ominaisuudet

Vanhaan tierakenteeseen kohdistuvissa tutkimuksissa selvitetään rakenteen ikä (kestoikä), rakenteen koostumus, pohjasuhteet, rasisustekijät, vaurioitumisaste sekä vaurioitumisen syyt. Tutkimus käsittää päälly- ja pohjarakenteet sekä kuivatusrakenteet.

Erityinen painopiste on painumien, routivuuden, kuormituskestävyyden ja heijastushalkeamien hallitsemisella, jota tietoutta tarvitaan perussparannettavan tien leventämiseen ja rakenteelliseen suunnitteluun liittyvien ongelmien ratkaisemisessa.

Tutkimus tehdään laboratoriokokeina (esim. materiaalitutkimukset) ja kenttäkokeina.

#### **4.2.4 Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin**

Lähtötietoja käsittelevät projektit liittyvät rakenne-, materiaali-, mitoitus-, mittaus- ja tutkimustekniikan projekteihin.

#### **4.2.5 Tulokset**

Lähtötietoihin liittyvien tutkimusprojektien yhteenveto on esitetty *taulukossa 1*.

Projektien RAS-1/2 tuloksena hallitaan sekä ajoneuvotekniset että tien pinnan tasaisuuden vaikutukset liikennerasitusten suuruuteen. Tämän seurauksena voidaan laskea entistä tarkemmin rakenteen todellinen kuormituskertaluku. Lisäksi tuloksena saadaan nykyistä luotettavimmat lähtötiedot liikennerasitusten osalta rakenteiden suunnittelua, mitoitusta ja toteutusta varten.

Projektien RAS-3 ja RAS-4 tuloksena saadaan selville tierakenteen lämpötilan ja kosteuden muutoksiin vaikuttavat tekijät. Lisäksi projektit tuottavat tietoa menetelmistä ja malleista, joiden perusteella voidaan määrittää tierakenteen tila lämpötila- ja kosteusparametrien suhteen ajan funktiona. Tietoja käytetään hyväksi mm. materiaalien toiminnallisten ominaisuuksien muutosten määrittämisessä, joita tarvitaan lähtötietona mitoituksessa ja rakenteen kestoiän laskennassa.

MAT-1 ja RAK-1 projektien tuloksena hallitaan luonnollisen maapohjan sekä peruskorjattavan tien toiminnalliset ominaisuudet. Nämä muodostavat lähtötiedot vahvistamistarpeen ja päällysrakenteen suunnittelulle.



Taulukko 1: Lähtötietoihin liittyvät tutkimusprojektit.

Projekti	Nimi
RAS-1	Liikennesitus
RAS-2	Tienpinnan ominaisuuksien vaikutukset liikennesitukseen
RAS-3	Lämpötilamuutokset tierakenteessa ja niiden mallintaminen
RAS-4	Kosteustilan muutokset tierakenteessa ja niiden mallintaminen
MAT-1	Pohjamateriaalien toiminnalliset ominaisuudet
RAK-1	Vanhan rakenteen toiminnalliset ominaisuudet

### 4.3 Rakenneteknologia

Rakenneteknologia muodostaa TPPT-tutkimusohjelman keskeisimmän osan. Se sisältää kaikki ne tutkimuksen osa-alueet, joiden avulla voidaan vaikuttaa teiden päälly- ja pohjarakenteiden taloudellisuuteen ja kestävyyteen. Vaikutukset saadaan selville ja ne pystytään kvantifioimaan eri osa-alueiden yhteisvaikutusten hallitsemisen kautta, joita ovat rakennetekniikka, materiaali-tekniikka, mitoitusmekaniikka, tuotantotekniikka sekä mittaustekniikka.

#### 4.3.1 Rakennetekniikka

##### 4.3.1.1 Rakennetekniikan kehittämisen suuntaviivat

Rakennetekniikkaan liittyvässä tutkimustyössä kehitetään uusia mitoitus- ja rakenneratkaisuja nykyisten rakenteiden vaihtoehdoksi sekä uusien teiden että peruskorjattavien teiden osalta. Uudet teknologiat sidottujen kerrosten käyttämiseksi päälly- ja pohjarakenteissa luovat hyvät mahdollisuudet nostaa tehokkaasti teiden rakenteellista palvelutasoa. Taloudellisuutta parannetaan mm. muodostamalla uusia rakenneratkaisuja korvaavista materiaaleista ja teollisuuden sivutuotteista sekä jäykistetyistä tai kevennetyistä rakenneratkaisuista.

Tavoitteena on, että suunnittelun lähtötietojen avulla voidaan rakennetekniikkaa, materiaali-tekniikkaa sekä mitoitusmekaniikkaa hyväksi käyttäen tuottaa erilaisia rakenneratkaisuja, joita on mahdollista verrata toisiinsa tierakenteen toiminnallisten ominaisuuksien perusteella (tasaisuus, kuormituskestävyys, routivuus, geotekninen kantavuus).

Eri tutkimusalueiden suhteellista merkitysvyyttä tierakenteen toiminnallisten ominaisuuksien hallitsemisen kannalta on esitetty taulukossa 2. Taulukko on

laadittu siten, että jokaisen toiminnallisen ominaisuuden (tasaisuus, kuormituskestävyys, routakestävyys, geotekninen kantavuus) painoarvo on 100. Tämän jälkeen on arvioitu kunkin tutkimusalueen merkitysvaikutus jokaisen tierakenteen toiminnallisen ominaisuuden kannalta. Yhteensä sarakkeeseen on yhteenlaskettu eri tutkimusalueiden suhteellinen merkitsevyys kokonaisuuden kannalta. Taulukosta havaitaan, että kolme tutkimusaluetta ovat tärkeydeltään lähes samaa suuruusluokkaa. Nämä ovat päällysrakenne, pohjarakenne sekä routaratkaisut. Taulukossa esitetyt luvut ovat karkeita arvoja, ja niitä on mahdollista täsmentää varsinaisessa tutkimusohjelmassa tuotettavien esiselvitysten pohjalta.

*Taulukko 2: Tutkimusalueiden suhteellinen merkitsevyys liikenteen ja tien rakenteen toiminnallisten ominaisuuksien kannalta.*

Tutkimusalue	Tasaisuus	Kuormituskestävyys	Routa-kest.	Geotekn. kantavuus	Yhteensä
Päällysrakenne					
- yläosa	10	40	-	10	60
- alaosa	10	20	10	10	50
Pohjarakenne	40	10	30	50	130
Routaratkaisu	40	30	40	10	120
Kuivatusratkaisu	-	-	20	20	40
	100	100	100	100	

#### 4.3.1.2 Päällysrakenteet

Päällys- ja pohjarakenteisiin liittyvien tutkimusten tavoitteena on määrittää tutkimusohjelmassa analysoitavat ja testattavat rakenneratkaisut. Tutkimuksen painopiste on uusien rakenneratkaisujen ideoinnissa ja kehittämisessä.

Päällysrakenteen sidotuilla kerroksilla otetaan vastaan suurin osa liikennekuormituksesta. Sitomattomien kerrosten tehtävänä on jakaa kuormitus edelleen pohjamaalle, pienentää roudan tunkeutumista pohjarakenteeseen sekä kuivattaa tierakennetta katkaisemalla veden kapillaarinen nousu ja johtamalla vedet sivulle ja pois.

##### Projekti RAK-2: Päällysrakenteet

Projektissa käsiteltävät päällysrakenteet luokitellaan jäykkiin, puolijäykkiin, kevennettyihin sekä sitomattomista materiaaleista muodostettuihin ratkaisuihin. Tutkittavia jäykkiä rakenteita ovat mm. betonipäällysteet, maabetonirakenteet



sekä yhdistelmärakenteet (komposiittirakenteet). Puolijäykkiä rakenteita ovat mm. asfalttikonkista ja bitumisorasta rakennetut kantavat kerrokset sekä bitumistabiloidut rakenteet (emulsio, vaahtobitumi, jätemuovi). Kevennetyistä rakenteista tutkitaan mm. erilaisia kevytsoraratkaisuja, kuten geoselli-, vaakavahviste- ja patjarakenteita (*esimerkkikuvat liitteessä 2*). Sitomattomista materiaaleista muodostetuissa rakenteissa testataan mm. moreeni- ja louherakenteita sekä verkko- ja kennorakenteita.

Uusien rakenneratkaisujen ideointi ja kehittäminen tehdään asiantuntijaryhmän toimesta hyödyntämällä sekä kotimaiset että ulkomaiset kokemukset ja visiot. Rakenteiden toimintaa arvioidaan ja testataan teoreettisen tarkastelun sekä koerata- ja/tai koerakennetutkimusten perusteella.

#### 4.3.1.3 Pohjarakenteet

Pehmeiden pohjamaiden vahvistamistarve on usein välttämätöntä, jotta voidaan estää tierakenteen painuminen ja sen heijastuminen tienpintaan epätasaisuutena ja liikenteellisen palvelutason heikkenemisenä. Viime vuosina on tapahtunut kehitystä uusien pohjarakenneratkaisujen osalta, joita ovat mm. pystylujitus-, holvi- ja geoverkko- ja geoverkko- ja geoverkko-

##### Projekti RAK-3: Pohjarakenteet

Pystylujitukseen liittyvän syvästabilointiteknologian mahdollisuudet tienrakentamisessa ovat nykyiseen käyttöön nähden selvästi monipuolisemmat ja määrältään moninkertaiset. Tutkimuksen tavoitteena on kehittää syvästabilointin puoliluja- ja lujapilariteknologia hallituksi menetelmäksi tierakentamisen sovellutuksiin. Projektissa käsitellään mm. pilariteknologialta vaadittavia ominaisuuksia, joilla varmistetaan syvästabilointirakenteen käyttäytyminen hallitulla tavalla suunnitelmien mukaan. Esimerkki syvästabilointiratkaisusta on esitetty *liitteessä 3*.

Tutkimuksessa kehitetään holvirakenteita, joiden avulla kuormitus voidaan jakaa laajemmalle alueelle erittäin heikoilla pohjamailla (turve- ja savipehmeiköt). Holvirakenteet saadaan aikaan lamelli- tai massastabiloinnin avulla, jonka yhteydessä käytetään esim. syvästabilointia ja geovahvisteita (*esimerkkejä liitteessä 3*).

Geosyntetistien tuotteiden käyttö on kasvussa Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Niiden käyttö teiden päällysrakenteissa on toistaiseksi ollut kuitenkin vähäistä. Tutkimuksen tavoitteena on teknisesti ja taloudellisesti parhaiden geosyntetistien tuotteiden (geovahvisteet, hydromatot, liuskapystyöjät, suodatinkangas,

geomembraani) analysointi ja kehittäminen Suomen olosuhteisiin soveltuviksi. Lisäksi tutkimuksessa kehitetään uusia rakennesovellutuksia.

Tutkimus tehdään teoreettisen tarkastelun sekä laboratoriotutkimuksen ja koerakentamisen perusteella. Tutkimuksessa hyödynnetään sekä kotimaassa että ulkomailla käynnissä olevat tutkimushankkeet ja kokemukset.

#### **4.3.1.4 Routasuojausrakenteet**

Tierakenteet on tehty Suomessa paksuksi roudan takia. Routimisesta aiheutuvien haittojen, kuten epätasaisuuden ja halkeamien, pienentämiseksi ja vähentämiseksi voidaan käyttää routasuojausrakenteita.

##### Projekti RAK-4:

##### Routasuojausrakenteet

Tutkimuksen tavoitteena on uusien routasuojausrakenteiden ideointi ja kehittäminen. Näitä ovat mm. erilaiset eristämistekniikat sekä homogenisoidut rakenteet (erityisesti pohjarakenne).

Tutkimuksessa hyödynnetään sekä kotimaiset että ulkomaiset kokemukset ja visiot. Rakenteiden toimintaa arvioidaan ja testataan teoreettisen tarkastelun sekä koerata- ja/tai koerakennetutkimusten perusteella.

#### **4.3.1.5 Kuivatusrakenteet**

Kuivatusrakenteiden avulla varmistetaan veden kulkeutuminen tierakenteesta pois mahdollisimman tehokkaasti ja nopeasti.

##### Projekti RAK-5:

##### Kuivatusrakenteet

Tutkimuksen tavoitteena on tien pintakuivatuksen ja rakenteen kuivatusta edistävien rakenneratkaisujen ideointi ja kehittäminen. Tutkittavia rakenteita ovat mm. erilaiset ojitusratkaisut (salaojat, suoto-ojat, sivuojat, vesieristysrakenteet jne.) sekä kuivatuksessa käytettävät materiaalit (esim. salaojitusmatot).

Tutkimuksessa hyödynnetään sekä kotimaiset että ulkomaiset kokemukset ja visiot. Rakenteiden toimintaa arvioidaan ja testataan teoreettisen tarkastelun sekä koerata- ja/tai koerakennetutkimusten perusteella.



#### 4.3.1.6 Vanhat tierakenteet

Tierakentaminen tulee painottumaan tulevaisuudessa yhä selvemmin korjausrakentamiseen ja olemassa olevan tiestön ylläpitoon. Korjausrakentamiseen liittyvä tutkimustoiminta on ollut tähän mennessä suhteellisen vähäistä.

##### Projekti RAK-6:

##### Parantamisratkaisut

Tutkimuksessa kehitetään vanhojen tierakenteiden korjaamiseen liittyviä rakenneratkaisuja siten, että parannettu tie täyttää tavoitteiden mukaiset kriteerit. Erityisesti kiinnitetään huomiota ratkaisuihin, joiden avulla saadaan hallintaan painuminen, routiminen sekä tien leventämiseen liittyvät epäjatkuvuuskohdat. Rakenneratkaisujen kehittämisessä otetaan huomioon muissa rakennetekniikkaan liittyvissä projekteissa saadut tulokset. Esimerkkejä rakenneratkaisusta, jotka liittyvät vanhan tien leventämiseen, on esitetty liitteessä 4.

Tutkimus tehdään laboratorio-, koerata- ja kenttäkokeiden avulla.

#### 4.3.1.7 Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin

Rakennetekniikkaan liittyvillä projekteilla on yhteys materiaali-, mitoitus-, tuotanto- sekä mittaus- ja tutkimustekniikkaan.

#### 4.3.1.8 Tulokset

Rakennetekniikkaan liittyvien tutkimusprojektien yhteenveto on esitetty taulukossa 3.

Tutkimusprojektien RAK-2/3/4/5/6 tuloksena saadaan uusia vaihtoehtoisia rakenneratkaisuja. Näiden avulla varmistetaan entistä taloudellisemmat ja kestävämmät päällys- ja pohjarakenteet uusien ja peruskorjattavien teiden osalta sekä liikenteellisiä että ilmastollisia rasituksia vastaan. Tulokset hyödynnetään rakenteiden suunnittelussa ja mitoituksessa uusina rakennevaihtoehtoina.

*Taulukko 3. Rakennetekniikkaan liittyvät tutkimusprojektit.*

Projekti	Nimi
RAK-2:	Päällysrakenteet
RAK-3:	Pohjarakenteet
RAK-4:	Routasuojusrakenteet
RAK-5:	Kuivatusrakenteet
RAK-6:	Parantamisratkaisut

#### 4.3.2 Materiaalitekniikka

Tienrakennuksessa on käytetty perinteisesti hyvälaatuisia materiaaleja. Tilanne on kuitenkin muuttunut erityisesti sitomattomien materiaalien osalta. Syynä tähän on materiaalien taloudellisten saantimahdollisuuksien heikentyminen paikallisesti, ympäristölliset seikat sekä nykyisten materiaalien epätaloudellinen käyttö. Myöskään materiaalien ominaisuuksia ei hallita riittävällä tarkkuudella, mikä on yhtenä syynä rakenteiden laadun vaihteluun ja ennenaikaiseen vaurioitumiseen.

##### 4.3.2.1 Materiaalitekniset mahdollisuudet

Tutkimuksen painopiste on uusien tienrakennusmateriaalien kartoittamisessa ja hyödyntämisessä sekä uusien materiaalien/yhdistelmien kehittämisessä.

##### Projekti MAT-2:

##### Materiaalitekniset mahdollisuudet

Projektissa selvitetään sellaisten potentiaalisten materiaalien käyttömahdollisuuksia, joita ei ole tähän mennessä ollut tarvetta käyttää tai joiden käytölle ei ole ollut riittäviä tiedollisia, taidollisia ja/tai taloudellisia edellytyksiä.

Tutkimuksessa käsitellään rakennekerrosmateriaalien osalta sidottuja materiaaleja sekä niiden sideaineita ja lisäaineita, vanhojen teiden runkoaineksia ja moreenia (menetelminä mm. mekaaninen jalostus, stabilointi, pelletointi), heikkolaatuisia kiviaineksia (heikkolaatuinen kalliomurske ja hiekka stabiloituina) sekä teollisuuden sivutuotteita ja jätemateriaaleja (kuona, tuhka, kipsi, rakennusjätteet jne.). Pengermateriaaleina tutkitaan stabiloitujen pehmeiden maa-ainesten (savi, siltti) käyttöä sekä routivien moreenien käyttöä esim.

penkereen alapuolisen kuivatuskerroksen avulla. Pohjamaan osalta vaihtoehtoina ovat mm. pintastabilointi, syvätiivistys sekä massa- ja lamellistabilointi.

Uusien materiaalien ideointi ja kehittäminen tehdään asiantuntijaryhmän toimesta hyödyntämällä sekä kotimaiset että ulkomaiset kokemukset ja visiot.

#### **4.3.2.2 Materiaalien toiminnalliset ominaisuudet**

Materiaalien toiminnallisia ominaisuuksia ei tunneta tällä hetkellä riittävän hyvin. Nämä tulisi tutkia erilaisissa olosuhteissa ottaen huomioon liikenteelliset, ilmastolliset sekä muut rasitustekijät (lämpötila, vesipitoisuus, huokosvedenpaine, kuormitusnopeus, jännitystila jne.).

Koska materiaalien toiminnalliset ominaisuudet riippuvat materiaalin luonteesta, tarkastellaan tutkimuksessa erikseen sidottuja ja sitomattomia materiaaleja.

##### Projekti MAT-3:

##### Sidottujen materiaalien toiminnalliset ominaisuudet

Projektissa määritetään sidottujen materiaalien toiminnalliset ominaisuudet sekä laitteistot ja menetelmät ominaisuuksien mittaamiseksi erilaisissa rasitustiloissa ja olosuhteissa.

Sidottujen materiaalien toiminnalliset ominaisuudet ovat bitumisille materiaaleille väsyminen, deformaatio, jäykkyys- ja kimmomoduulit, vanheneminen sekä halkeilu. Vastaavat ominaisuudet betonimateriaaleille ovat lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet, tiiviys, huokoisuus, vedenläpäisevyys, pakkaskestävyys sekä tiivistyvyys.

##### Projekti MAT-4:

##### Sitomattomien materiaalien toiminnalliset ominaisuudet

Projektissa määritetään sitomattomien materiaalien toiminnalliset ominaisuudet sekä laitteistot ja menetelmät ominaisuuksien mittaamiseksi erilaisissa rasitustiloissa ja olosuhteissa.

Sitomattomien materiaalien toiminnalliset ominaisuudet ovat samat kuin pohjamateriaaleilla eli lujuus-, muodonmuutos-, hydrauliset-, lämpötekniset-, routivuus- ja pysyvyysominaisuudet. Ominaisuuksiin vaikuttavat sekä aika- että kuormitustekijät.



Sitomattomien materiaalien eri ominaisuuksia ja niiden yhdistelmiä selitetään erilaisilla materiaalimalleilla, joissa ko. ominaisuutta kuvaavat empiiriset parametrit mitataan laboratorioissa ja maastossa (ks. kohta 4.3.2.3 *Materiaalimallit*).

Materiaalien toiminnallisia ominaisuuksia tutkitaan teoreettisen tarkastelun sekä laboratorio- ja koerata- ja/tai koerakennetutkimusten perusteella.

#### **4.3.2.3 Materiaalimallit**

Materiaalien käyttäytymisen hallitsemiseksi sovelletaan olemassa olevia tai kehitetään uusia materiaalimalleja sekä sidotuille että sitomattomille materiaaleille. Mallien laatiminen edellyttää tietoja materiaalien toiminnallisiin ominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä.

##### Projekti MAT-5:

##### Materiaalimallit

Materiaalimallit ovat matemaattisia malleja, joilla pyritään selittämään materiaalien käyttäytymistä erilaisissa rasiustiloissa ja/tai ajassa. Tutkimuksessa selvitetään olemassa olevat materiaalimallit sekä testataan niiden soveltuvuus suomalaisiin olosuhteisiin (mm. CRREL:n mallit materiaali-moduulien laskemiseksi materiaaliparametrien perusteella). Tämän pohjalta kehitetään tarvittaessa uusia malleja, joiden perusteella voidaan ennustaa materiaalien käyttäytymistä ja toiminnallisia ominaisuuksia materiaaliparametrien avulla ottamalla myös huomioon parametreissä tapahtuvat vaihtelut ja hajonnat.

Tutkimus tehdään teoreettisena tarkasteluna sekä laboratorio-, koerata- ja/tai koerakennetutkimuksena.

#### **4.3.2.4 Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin**

Materiaalitekniikkaan liittyvillä projekteilla on yhteys rakenne-, mitoitus-, tuotanto- sekä mittaus- ja tutkimustekniikkaan.

#### **4.3.2.5 Tulokset**

Materiaalitekniikkaan liittyvien tutkimusprojektien yhteenveto on esitetty taulukossa 4.

Tutkimusprojektien MAT-2/3/4/5 tuloksena on uudet materiaalit, joita hyödyntämällä on hyvät potentiaaliset mahdollisuudet entistä taloudellisempien

ja kestävämpien sekä ympäristöystävällisempien rakenneratkaisujen suunnitteluun ja toteuttamiseen. Lisäksi tuloksena hallitaan materiaalien toiminnallisiin ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät ja niiden pohjalta laaditut materiaalmallit, joita käytetään hyväksi tierakenteen tilamuutoksen arvioinnissa ja kestoiän laskennassa. Myös toiminnallisten ominaisuuksien määrittämisessä käytettävät laitteet ja menetelmät ovat tiedossa.

*Taulukko 4. Materiaalitekniikkaan liittyvät tutkimusprojektit.*

Projekti	Nimi
MAT-2:	Materiaalitekniset mahdollisuudet
MAT-3:	Sidottujen materiaalien toiminnalliset ominaisuudet
MAT-4:	Sitomattomien materiaalien toiminnalliset ominaisuudet
MAT-5:	Materiaalmallit

### 4.3.3 Mitoitustekniikka

Mitoitustekniikkaan liittyvän tutkimuksen tavoitteena on olemassa olevien mallien/järjestelmien verifiointi ja/tai uusien mallien/järjestelmien kehittäminen, joiden avulla voidaan analysoida tierakenteen käyttäytymistä eri rasiustiloissa ottamalla huomioon alus- ja päällysrakenteen yhteistoiminta. Järjestelmät käsittävät sekä asiantuntija- että CAD/CAE-teknologiaa (Computer Aided Design / Computer Aided Engineering) hyödyntävät järjestelmät.

Mitoitusmallit kehitetään tierakenteen kuormituskestävyydelle, routimiselle, painumille (geotekninen kantavuus) sekä tasaisuudelle (palvelutasolle). Kaikkien mallien lähtötietoina käytetään rasiustekijöistä (lämpötilan, vesipitoisuuden ym. tekijöiden muutokset rakenteessa ajan funktiona), materiaalitekniikasta (materiaalien toiminnalliset ominaisuudet ja niihin vaikuttavat tekijät, materiaalmallit) sekä rakennetekniikasta (rakenneratkaisut) saatavaa tietoutta, jossa on huomioitu lähtötietojen vaihtelevuus ja hajonnat (riskianalyysi). Mitoituksessa otetaan huomioon tierakenteen eri tilat, jotka vaihtelevat vuodenaikojen mukaan talven jäätyneestä rakenteesta kevään heikkoon roudan sulamisaikaiseen tilaan.

#### 4.3.3.1 Kuormituskestävyyssmitoitus

Tierakenteen kuormituskestävyyden mitoituskriteereinä ovat tavallisesti päällysteen alapintaan syntyvä vetomuodonmuutos ja pohjamaan pintaan kohdistuva pystysuora muodonmuutos (tai jännitys). Myös sidottujen ja



sitomattomien materiaalien pysyvät muodonmuutokset aiheuttavat tierakenteen vaurioitumista. Mitoituskriteerien perusteella voidaan arvioida rakenteen kestävyys liikennekuormituksen kannalta vertaamalla sallittuja raja-arvoja tierakenteessa esiintyviin arvoihin.

#### Projekti MIT-1:

##### Tierakenteen kuormituskestävyyden mitoitus

Tutkimuksessa selvitetään kysymykseen tulevat mitoitusmallit, joiden perusteella voidaan laskea tierakenteen kuormituskestävyyden kannalta kriittiset parametrit. Mallien arvioimiseksi vertaillaan niiden ominaisuuksia toisiinsa. Vertailussa otetaan huomioon mm. mallien teoreettiset eroavuudet (esim. materiaalien lineaarisen tai epälineaarisen käyttäytymisen hallitseminen) sekä niiden tuottamien tulosten tarkkuus ja luotettavuus (vertailu koerakenteissa mitattuihin arvoihin) ja käyttötarkoitus.

Vertailun tuloksena saadaan kuva mallien mahdollisista muutostarpeista, minkä jälkeen tehdään tarkennetut suunnitelmat Suomen olosuhteisiin soveltuvan mitoitusohjelmiston jatkokehittämiseksi/valitsemiseksi.

Edellä esitetyt vaiheet liittyvät myös peruskorjattavien rakenteiden mitoitukseen, jossa lähtökohtana on pudotuspainolaitteen tuottamat kantavuustiedot ja materiaalien moduulitiedot.

#### **4.3.3.2 Routamitoitus**

Tierakenteen epätasainen routiminen aiheuttaa tienpinnan epätasaisuutta sekä tämän seurauksena halkeamia. Routimisen edellytyksiä ovat routivat materiaalit, tierakenteessa oleva vesi sekä rakenteen jäätyminen.

#### Projekti MIT-2:

##### Tierakenteen routamitoitus

Tutkimuksessa selvitetään nykyisin käytössä olevat routamallit, joita käytetään hyväksi routanousujen suuruuden, sulamispehmenemisestä aiheutuvien painumien, epätasaisuuden ja routahalkeamien esiintymistodennäköisyyksien laskemisessa. Mallien arvioimiseksi vertaillaan niiden ominaisuuksia toisiinsa. Vertailussa otetaan huomioon mm. mallien teoreettiset eroavuudet (esim. materiaalien mallintamista kuvaavat parametrit ja periaatteet) sekä niiden tuottamien tulosten tarkkuus, luotettavuus (vertailu koerakenteissa mitattuihin arvoihin) ja käyttötarkoitus.

Vertailun tuloksena saadaan kuva mallien mahdollisista muutostarpeista, minkä jälkeen tehdään tarkennetut suunnitelmat Suomen olosuhteisiin soveltuvan mitoitusohjelmiston jatkokehittämiseksi/valitsemiseksi.

#### 4.3.3.3 Pohjarakenteen painumamitoitus

Pohjarakenteen geoteknisen kantavuuden mitoituksella tarkoitetaan tässä yhteydessä tierakenteen painumamitoitusta. Heikoilla pohjamailla tierakenteen staattinen kuormitus saattaa aiheuttaa painumia pohjarakenteessa, mikä heijastuu edelleen tien pintaan epätasaisuutena.

##### Projekti MIT-3:

##### Tierakenteen painumamitoitus

Tutkimuksessa selvitetään nykyisin käytössä olevat mallit, joita käytetään hyväksi painumien suuruuksien laskennassa. Mallien arvioimiseksi vertaillaan niiden ominaisuuksia toisiinsa. Vertailussa otetaan huomioon mm. mallien teoreettiset eroavuudet (esim. materiaalien mallintamista kuvaavat parametrit ja periaatteet) sekä niiden tuottamien tulosten tarkkuus, luotettavuus (vertailu koerakenteissa mitattuihin arvoihin) ja käyttötarkoitus.

Vertailun tuloksena saadaan kuva mallien mahdollisista muutostarpeista, minkä jälkeen tehdään tarkennetut suunnitelmat Suomen olosuhteisiin soveltuvan mitoitusohjelmiston jatkokehittämiseksi/valitsemiseksi.

#### 4.3.3.4 Menetelmäkohtaiset mitoitussmallit

Menetelmäkohtaisilla mitoitussmalleilla tarkoitetaan tien pohjanvahvistusrakenteiden, leikkausluiskien, tukirakenteiden jne. mitoitusta. Menetelmäkohtaisten mitoitussmallien kehitystarve on kasvanut tutkimus- ja laskentamenetelmien kehityksen sekä innovatiivisten ratkaisujen myötä.

##### Projekti MIT-4:

##### Menetelmäkohtaiset mitoitussmallit

Tutkimuksen tavoitteena on menetelmäkohtaisten mitoitussmallien kehittäminen syvästabiloinnille (erityisesti lujille pilareille), penger-, luiska- ja tiivistyspaalutukselle sekä geolujitteille.

Mitoitussmallien kehittämisessä otetaan huomioon tien päällysrakenteen, pohjanvahvistusrakenteen sekä pehmeän maapohjan yhteisvaikutus tarpeen mukaan.



#### **4.3.3.5 Alus- ja päällysrakenteen yhteisvaikutuksen mallintaminen**

Tien rakenteellisessa suunnittelussa alus- ja päällysrakenteen suunnittelu- vaiheet on nykyisin eriytetty toisistaan. Käytännössä tierakennetta tulisi tarkastella kuitenkin yhtenä kokonaisuutena, koska alus- ja päällysrakenteen yhteistoiminnalla on selvä vaikutus rakenteen kestävyYTEEN.

##### Projekti MIT-5:

##### Alus- ja päällysrakenteen yhteisvaikutuksen mallintaminen

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää alus- ja päällysrakenteen yhteistoimintaan vaikuttavat tekijät ja niiden väliset riippuvuudet. Lisäksi projektin tavoitteena on soveltaa nykyisiä ja/tai kehittää uusia tutkimus- ja laskentamenetelmiä, joiden avulla koko rakenteen toiminnan seurausvaikutukset voidaan kvantifioida tasaisuuden, kuormituskestävyyden, routimisen sekä painumien osalta.

Tutkimuksessa hyödynnetään mitoitusprojektien MIT-1/2/3/4 tuloksia kokonaisvaltaisen mitoitusohjelmiston luomiseksi.

#### **4.3.3.6 Luotettavuusanalyysit**

Tierakenteen mitoituksessa käytetään pääasiassa yhtä suuretta kuvaamaan lähtötietoja, jolloin myös laskentamallien tulos ilmenee vastaavasti yhtenä lukuarvona. Käytännössä lähtötietoja ei tunneta tarkasti, vaan ne ovat luonteeltaan todennäköisyysjakaumia, jota tietoa tulisi käyttää hyväksi kehitettäessä mitoitusmenetelmiin liittyviä luotettavuus- ja riskianalyysijä.

##### Projekti MIT-6:

##### Luotettavuusanalyysit

Tutkimuksen tavoitteena on luotettavuus- ja riskianalyysiin perustuvan analysointimetodin hyväksikäyttäminen ja soveltaminen mitoistekniikassa. Projektissa määritetään tarkasteltavien lähtöparametrien todellisuudessa esiintyvät todennäköisyysjakaumat, minkä tuloksena voidaan määrittää käytettävien mitoitusmenetelmien tuottamien tulosten vastaavat jakaumatiedot. Saatujen tulosten perusteella voidaan analysoida tierakenteen vaurioitumisriskiä samalla kun saadaan kuva eri tekijöiden hajonnan vaikutuksesta lopputulokseen. Tarkastelu käsittää myös valittujen mitoitus- ja laskentamallien herkkyydsanalyysin tekemisen.

Kaikki em. mitoitusprojekteihin liittyvät tutkimukset tehdään teoreettisena tarkasteluna sekä koerata-, koerakenne- ja koetietutkimuksena.

#### 4.3.3.7 Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin

Mitoitustekniikkaan liittyvillä projekteilla on yhteys rakenne- ja materiaalitekniikan sekä mittaus- ja tutkimustekniikan projekteihin.

#### 4.3.3.8 Tulokset

Mitoitustekniikkaan liittyvät projektit on esitetty *taulukossa 5*.

Mitoitusprojektien MIT-1/2/3/4/5/6 tuloksena saadaan entistä tarkemmat ja luotettavammat mitoitusmenetelmät, joiden avulla voidaan suunnitella nykyistä taloudellisempia ja kestävämpiä tierakenteita siten, että ennenaikainen vaurioitumisriski on hallitulla tasolla.

Mitoitusmenetelmät mahdollistavat myös uusien potentiaalisten rakenne- ja materiaalitekniikkaan liittyvien ratkaisuvaihtoehtojen käyttäytymisen analysoinnin laskennallisesti, minkä perusteella kallista koerakentamista voidaan ohjata oikeaan suuntaan välttämällä informaatioarvoltaan turhien koerakenteiden tekeminen.

*Taulukko 5: Mitoitustekniikkaan liittyvät tutkimusprojektit.*

Projekti	Nimi
MIT-1:	Tierakenteen kuormituskestävyyden mitoitus
MIT-2:	Tierakenteen routamitoitus
MIT-3:	Tierakenteen painumamitoitus
MIT-4:	Menetelmäkohtaiset mitoitusmallit
MIT-5:	Alus- ja päällysrakenteen yhteisvaikutuksen mallintaminen
MIT-6:	Luotettavuusanalyysit

#### 4.3.4 Tuotantotekniikka

Tuotantotekniikan kehittämisen painopistealueina ovat tierakenteiden laatuun ja taloudellisuuteen vaikuttavien tekijöiden hallinta. Nämä liittyvät laadun ohjaukseen ja laatutavoitteiden varmistukseen sekä tuotantoteknisten menetelmien kehittämiseen. Myös suunnittelijan asiantuntemuksen hyödyntämisellä rakentamisen yhteydessä nykyistä enemmän pystytään vaikuttamaan

lopputulokseen. Suunnittelijan tiiviimpi mukanaolo työmaapalvelussa edesauttaa työnaikaisten ongelmien ratkaisemisessa ja varmistaa laadukkaamman lopputuloksen.

#### **4.3.4.1 Laadun ohjaus ja laatutavoitteet**

Tierakenteen laatu vaikuttaa merkittävästi koko rakenteen käyttäytymiseen ja toiminnallisiin ominaisuuksiin. Merkittävät laatupoikkeamat aiheuttavat tierakenteen ennen aikaisen vaurioitumisen (halkeamat, painumat, sortumat jne.). Tutkimuksessa selvitetään laadun vaikutusta tierakenteen toiminnallisiin ominaisuuksiin sekä laatuun vaikuttavat tekijät.

##### Projekti TUOT-1:

##### Laadun vaikutus tierakenteen toiminnallisiin ominaisuuksiin

Mitä heikompi tierakenteen laatu on (suuri vaihtelu esim. materiaaliominaisuuksissa), sitä suurempi riski on rakenteen ennen aikaiselle vaurioitumiselle. Tutkimuksessa kehitetään menetelmät, joiden avulla voidaan arvioida eri laatumuuttujien ja niiden hajonnan vaikutukset tierakenteen kestoikään eli toiminnallisiin ominaisuuksiin (tasaisuus, kuormituskestävyys, routiminen, painuminen) ja kustannuksiin.

Projektissa hyödynnetään menetelmä- ja laitekehityksen tuloksia, minkä avulla rakentamisessa tapahtuvaa laadunvaihtelua voidaan pienentää.

Tutkimuksessa otetaan huomioon Suomessa käynnissä olevat laatuprojektit. Tutkimus tehdään nykytilaselvityksenä, teoreettisena tarkasteluna sekä koerata- ja kenttäkokeina.

##### Projekti TUOT-2:

##### Laatuun vaikuttavat tekijät

Rakennushankkeen toteuttamista suunnitelmien mukaisesti voidaan seurata teknisen laadunvarmistusjärjestelmän avulla. Sillä pyritään varmistamaan toteutettavan työn tasainen ja tavoitteen mukainen laatutaso ennen työn suorittamista tehtävillä toimenpiteillä sekä työn kuluessa tehtävillä mittauksilla.

Tutkimuksessa selvitetään ne rakenteen osa-alueet, joihin laadunvarmistus tulee kohdistaa. Tutkimuksen lähtötietoina ovat projektin TUOT-1 tulokset eli ne tekijät, joilla on merkittävä vaikutus rakenteen kestävyys.

Tässä yhteydessä arvioidaan laatumuuttujien määrittämiseksi tarvittavat mittavälineet eli laitteet, joiden avulla voidaan tuottaa palautetietoa rakenteen



ja rakentamisen laadusta välittömästi työsuorituksen jälkeen. Laadunvalvon-  
nassa käytettäviä laitteita ja menetelmiä on esitetty mittaustekniikkaa  
käsittelevässä luvussa.

Tutkimus tehdään nykytilaselvityksen sekä kenttäkokeiden perusteella.

#### **4.3.4.2 Taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät**

Tierakenteen (uudet tiet, peruskorjattavat tiet) taloudelliseen toteuttamiseen  
voidaan vaikuttaa tuotantoteknisten menetelmien kehitystyön avulla.  
Kehittäminen kohdistuu massatalousoptimointiin, ajoitusoptimointiin, kalustoon,  
koneisiin, menetelmiin, työ- ja liikenneturvallisuuteen, ympäristöön sekä  
urakkamuotoihin.

##### Projekti TUOT-3:

##### Massatalousoptimoinnin kehittäminen

Tutkimuksessa käsitellään massatasapainon ja kuljetusten optimoinnin sekä  
massojen käyttötalouden kehittämistä. Kuljetusten osalta otetaan huomioon  
mm. logistiikan tuomat mahdollisuudet. Massojen käyttötalouden osalta  
päähuomio kohdistuu massojen kelpoisuusoptimointiin ja järjestykseen sekä  
laatu-kustannussuhteeseen. Lisäksi projektissa käsitellään massojen  
käytettävyyssriskejä (routimisen ja routaantumisen vaikutukset, käsiteltä-  
vyysriskit ja kulkuvaikeudet kuljetusten yhteydessä, tiivistettävyyssriskit ja  
työkoneiden aiheuttamat laaturiskit).

##### Projekti TUOT-4:

##### Ajoitusoptimoinnin kehittäminen

Tutkimuksessa selvitetään eri työvaiheiden ajoitukseen vaikuttavat tekijät sekä  
niiden vaikutukset toteutuskustannuksiin. Tutkittavia asioita ovat mm.  
työjärjestys (työvaiheet ovat usein sidoksissa toisiinsa), vuodenaajat (vaikutuk-  
set maapohjan routaantumiseen, massojen routimiseen, käsittelyyn ja  
tiivistettävyyteen sekä työmaaliikenteeseen) sekä käytetyt menetelmät  
(erityisesti pystyöjitus- ja syvästabilointimenetelmät).

##### Projekti TUOT-5:

##### Koneiden ja menetelmien kehitystyö

Tutkimuksessa kartoitetaan nykyinen tilanne eri menetelmien ja kaluston  
osalta sekä selvitetään kansainvälisen trendin suuntaviivat. Nykynäkymin  
kehitystarvetta on esim. syvästabilointikalustossa ja menetelmätekniikan osalla  
erityisesti rakennettaessa lujia pilareita. Projektissa selvitetään elektronisten

paikannusjärjestelmien luomia mahdollisuuksia työkonoiden tai niiden työlaitteiden automaattisessa orientoinnissa ja ohjauksessa.

Erityisesti taajama-alueilla olemassa olevien rakenteiden ja laitteiden häiriöitä (mm. värinä) voidaan vähentää menetelmä- ja laitekehityksen avulla. Kaluston maastokelpoisuutta kehittämällä voidaan vähentää työmaatiekustannuksia jne.

#### Projekti TUOT-6:

##### Työ- ja liikenneturvallisuus sekä ympäristö

Työ- ja liikenneturvallisuuden parantamiseksi sekä ympäristön huomioon ottamiseksi tierakennustöissä selvitetään projektissa mm. seuraavia keinoja:

- rakenneratkaisujen ja menetelmien kehittäminen
- kemiallisten riskien ja -päästöjen pienentäminen
- pohjavesivaikutusten selvittäminen
- energiatalouden kehittäminen
- tieympäristön kehittäminen
- melusuojausten kehittäminen
- liikennealueiden pintavesien riskien vähentäminen
- henkilöstön (eri tasot) koulutustarpeet.

#### Projekti TUOT-7:

##### Urakkamuotojen käytön kehittäminen

Tutkimuksessa selvitetään, miten urakkamuotojen käyttöä voidaan kehittää osoittelemalla ja/tai yhdistelemällä eri tyyppisiä hankkeita urakoiksi ja vertaamalla urakkahintaa, laatu vastuun säilymistä, aikataulua, massatalous vastuuta ja organisaatiota.

Kehittämisessä tulee myös painottaa urakoitsijan ja rakennuttajan välistä laatu vastuuta, valvontamittauksia ja tositteita sekä takuuaikaa.

Tuotantotekniikan taloudellisuuteen liittyvät projektit tehdään nykytilaselvityksenä sekä kenttäkokeiden avulla.

#### **4.3.4.3 Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin**

Tuotantotekniikkaan liittyvillä projekteilla on yhteys rakenne-, materiaali-, mittaus- ja tutkimustekniikkaan.

#### 4.3.4.4 Tulokset

Tuotantotekniikkaan liittyvät projektit on esitetty *taulukossa 6*.

Projektien TUOT-1/2/3/4/5/6/7 tuloksena pystytään vähentämään tierakenteiden ennen aikaisen vaurioitumisen riskejä paremman laadun seurauksena. Myös rakentamiskustannukset alenevat uusien koneiden sekä entistä tehokkaampien ja taloudellisempien työmenetelmien ja työjärjestelyjen seurauksena.

*Taulukko 6: Tuotantotekniikkaan liittyvät tutkimusprojektit.*

Projekti	Nimi
TUOT-1:	Laadun vaikutus tierakenteen toiminnallisiin ominaisuuksiin
TUOT-2:	Laatuun vaikuttavat tekijät
TUOT-3:	Massatalousoptimoinnin kehittäminen
TUOT-4:	Ajoitusoptimoinnin kehittäminen
TUOT-5:	Koneiden ja menetelmien kehitystyö
TUOT-6:	Työ- ja liikenneturvallisuus sekä ympäristö
TUOT-7:	Urakkamuotojen käytön kehittäminen

#### 4.3.5 Mittaustekniikka

Uudisrakentamishankkeissa maaston pienipiirteisen vaihtelun huomioiva tierakenteen suunnittelu ja mitoitus edellyttää, että pohjasuhteita kyetään tarkastelemaan vähintään suunnittelu- ja mitoitusmenetelmien edellyttämällä tarkkuudella. Tämä vaatii maapohjan toiminnallisia ominaisuuksia suoraan mittaavia pohjatutkimusvälineitä sekä menetelmiä, joilla toisistaan lähinnä mekaanisilta ominaisuuksiltaan poikkeavien maakerrosten rajat voidaan määrittää jatkuvina.

Korjausrakentamisessa (erityisesti tierungon levantämisessä) päällysrakenteen ja pohjarakenteiden tila tulee pystyä selvittämään siten, että korjaustöiden vaikutukset voidaan suunnitella ja ennakoida. Erityisesti siirtymäerojen ennakoiti sekä jäykkyyserojen tunteminen on tärkeää.

Mittaustekniikassa käsitellään uuden ja vanhan tierakenteen sekä maapohjan tutkimisessa käytettävissä olevia mittaustekniikoita. Ne voidaan luokitella ainetta rikkomattomiin menetelmiin sekä ainetta rikkoviin menetelmiin.



#### 4.3.5.1 Ainetta rikkomattomat menetelmät

##### Projekti MITTEK-1:

##### Ainetta rikkomattomat menetelmät

Geofysikaaliset menetelmät ja ennenkaikkea niillä kerätyn tiedon jatkokäsittelyohjelmistot kehittyvät erittäin nopeasti. Tutkimuksen tavoitteena on kehittää edelleen ainetta rikkomattomien geofysikaalisten menetelmien tulkintaa siten, että rakenteen kerrosrajat pystytään määrittämään luotettavasti ja syvyysdimensiot saadaan tulkituksi todellisessa mittakaavassa.

Projektissa tarkastellaan mm. seuraavia sähköisiä/geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä:

- seismiset, cross hole- luotaukset
- akustinen luotaus
- sähkövastusluotaus
- maatutka
- radiometriset menetelmät.

Päällysrakenteen käyttäytymisen mittaamisessa hyödynnetään jännitys- ja muodonmuutosantureita. Lisäksi ainetta rikkomattomiin menetelmiin kuuluu rakenteen kantavuuden ja materiaalimoduulien määrittäminen pudotuspainolaitteen avulla sekä materiaalien routivuuden määrittämismenetelmät ja laitteet.

Tutkimusalue käsittää tienrakennushankkeiden kannalta tyyppilliset suomalaiset rakenteet ja pohjaolosuhteet. Aineiston tulkinnassa hyödynnetään myös geologian asiantuntemusta erityisesti tutkimuspaikan geologisten vaiheiden osalta.

Tarvittavan vertailuaineiston hankkimiseksi tehdään em. geofysikaaliset mittaukset rinnakkain muiden, kohdassa 4.3.5.2 esitettyjen ainetta rikkovien menetelmien kanssa.

#### 4.3.5.2 Ainetta rikkovat menetelmät

##### Projekti MITTEK-2:

##### Ainetta rikkovat menetelmät

Ainetta rikkovilla menetelmillä tarkoitetaan pistekohtaisia kairaus- ja pohjatutkimusmenetelmiä. Niiden tarkoituksena on kerätä nykyistä luotettavampaa ja

monipuolisempaa tietoa päällysrakenteen ja maapohjan ominaisuuksista suunnittelua varten.

Tutkimuksen tavoitteena on kairausmenetelmien kehittäminen entistä nopeammaksi ja nykyistä vähemmän virhealttiiksi. Kairausten pääpaino tulee olemaan ominaisuuksien määrittämisessä. Lisäksi tutkimuksessa kerätyllä kairausinformaatiolla varmennetaan geofysikaalisilla menetelmillä määritettyjä kerrosraja- ja maalajitietoja.

Projektin tarkastelun kohteena ovat seuraavat pistekohtaiset kairaus- ja pohjatutkimusmenetelmät:

- sähköinen puristinkaira (cptu)
- puristinheijarikairaus erityismenetelmiseen (sipt)
- pressometri
- ruuvilevykoe
- dilatometri
- radiometriset menetelmät
- vedenläpäisevyys
- huokosvedenpaineen seuranta.

Kaikissa mainituissa menetelmissä on mahdollista, että tieto kerätään kohteella sähköisesti, taltioidaan digitaalisesti sekä siirretään sähköisesti jatkokäsittelyyn. Kolmiulotteisten paikannusmenetelmien tarkentuessa on lähi-vuosina mahdollista liittää mittaustietoihin myös tietojen hallintajärjestelmien vaatimia paikkadatoja suoraan.

#### 4.3.5.3 Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin

Mittaustekniikkaan liittyvillä projekteilla on yhteys rakenne-, materiaali-, mitoitus-, tuotanto- ja tutkimustekniikkaan.

#### 4.3.5.4 Tulokset

Mittaustekniikkaan liittyvät projektit on esitetty *taulukossa 7*.

Projektien MITTEK-1/2 tuloksena saadaan nykyistä selvästi paremmat lähtötiedot tierakenteen suunnittelua varten. Lisäksi voidaan seurata entistä tarkemmin olemassa olevan rakenteen ominaisuuksia ja käyttäytymistä rasituksen alaisena. Teoreettisten laskelmien sekä laboratoriotulosten kalibrointi voidaan tehdä todellisen mittaustiedon perusteella mm. mallien tarkentamisen osalta. Myös rakenneratkaisujen joustava muuntaminen maaston mukaan tulee mahdolliseksi.

*Taulukko 7: Mittaustekniikkaan liittyvät tutkimusprojektit.*

Projekti	Nimi
MITTEK-1:	Ainetta rikkomattomat menetelmät
MITTEK-2:	Ainetta rikkovat menetelmät

## 4.4 Tutkimustekniikka

Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelman keskeisenä tekijänä on tutkimuksessa käytettävät menetelmät ja laitteet. Tämän avulla varmistetaan tutkimustulosten luotettavuus ja käyttökelpoisuus erilaisissa olosuhteissa ja rasisustiloissa, mikä muodostaa hyvän perustan käytännön suunnittelutyölle ja rakentamiselle. Tutkimusmenetelmät voidaan luokitella seuraavasti:

- koesuunnittelu
- teoreettiset laskelmat
- laboratoriokokeet
- koerakenteet (laboratorio, kenttä)
- koetiet.

### 4.4.1 Koesuunnittelu

Tilastolliseen koesuunnitteluun liittyvää tietoa käytetään hyväksi tutkimuksen kaikissa vaiheissa. Koesuunnittelua voidaan hyödyntää erityisesti silloin, kun tutkimuksessa pyritään hallitsemaan tutkittavien selittävien muuttujien vaikutuksia selitettäviin muuttujiin. Tarkoitus on etukäteen varmistaa se, että olemassa olevien riippuvuuksien löytäminen on ylipäänsä mahdollista, ja että koe voidaan toteuttaa mahdollisimman taloudellisesti eli mahdollisimman vähällä koemäärällä.

Hyvin suunnitellussa kokeessa selvitetään valittujen selittävien muuttujien vaikutusta selitettävään ja koejärjestelyllä pyritään takaamaan se, etteivät muut havaitsemattomat muuttujat pääse estämään riippuvuuksien määrittämistä tai vääristämään havaittuja riippuvuuksia.

Tilastollinen koesuunnittelu sopii erityisesti teoreettisten laskelmien, laboratoriokokeiden sekä koerakenteiden perustaksi. Koeteiden osalta tulee ottaa huomioon se, että olemassa olevalta tieverkolta ei aina välttämättä löydy kohteita, jotka olisivat tutkimuksen suorituksen kannalta toivottuja. Tällöin täytyy harkita kussakin tapauksessa erikseen mahdollisuuksia koerakentamiseen haluttujen muuttujakombinaatioiden selvittämiseksi.



Koesuunnittelua hyödynnetään mm. materiaalitekniikkaan, rakennetekniikkaan sekä mitoitustekniikkaan liittyvissä projekteissa. Myös rasiustilojen systemaattisessa valinnassa koesuunnittelun pohjalta saavutetaan selviä hyötyjä aineiston analysoinnin ja kokonaisuuden kannalta.

#### **4.4.2 Teoreettiset laskelmat**

Teoreettisten laskelmien avulla voidaan simuloida ja analysoida rasiustekijöiden muutoksia (esim. veden kulkeutumista tierakenteessa kuvaavat mallit). Lisäksi laskelmien avulla on mahdollista tutkia rakenteen käyttäytymistä erilaisten rakenneratkaisujen ja materiaalien osalta vaihtelevissa rasiustiloissa ja olosuhteissa.

Laskelmien avulla voidaan ohjata koerakenteiden ja niiden instrumentoinnin suunnittelua. Tällöin voidaan jo etukäteen karsia vähemmän onnistuneet ratkaisut.

Teoreettisten laskelmien tuottamien tulosten luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta voidaan tarkastella vertaamalla niiden avulla saatuja tuloksia laboratorio- ja kenttäkokeiden tuloksiin.

#### **4.4.3 Laboratorio- ja kenttäkokeet**

Laboratoriokokeiden tuloksena voidaan siis verifioida teoreettisilla laskelmilla saadut tulokset. Lisäksi laboratorio- ja kenttätutkimuksissa määritetään tarkoitukseen soveltuvia laitteistoja ja menetelmiä hyväksikäyttämällä sellaiset materiaalien ominaisuudet, jotka kuvaavat materiaalien käyttäytymistä erilaisissa rasiustiloissa.

Laboratorio- ja kenttätutkimusten tuloksena kehitetään uusia ja/tai parannetaan olemassa olevia laitteistoja ja testausmenetelmiä. Lisäksi tuloksena saadaan uudet materiaalmallit ja niiden parametrit, joita käytetään lähtötietoina mm. mitoitusmenetelmissä.

#### **4.4.4 Koeratakokeet ja koetiet**

Sekä teoreettisissa tarkasteluissa että laboratoriotutkimuksissa saadut tulokset sidotaan rakennekokonaisuuteen koeratakokeilla, joissa tutkittavia rakenteita rasiutetaan nopeutetun kuormituksen eli koetiekoneen avulla. Tutkimukset tehdään koehalleissa, joissa olosuhteet (lämpötila, kosteus, kuormitus jne.) ovat säädettävissä ja rakenteet tehtävissä tarkoituksenmukaisella tavalla. Koeradalla voidaan myös tutkia sellaisten materiaalien ja rakenteiden käyttäytymistä, joka muutoin (esim. laboratoriossa) on hankalaa.

Rakenteiden käyttäytymistä tutkitaan tämän jälkeen koerakenteilla kenttäolosuhteissa esim. ohitusväyliä käyttämällä suurilla tiehankkeilla tai erikseen tehdyillä koerakenteilla (esim. Virtaalla sijaitseva lentokentän varalaskupaikka). Koerakenteiden instrumentoinnilla on keskeinen sija mitattavien suureiden tulostuksessa. Alusrakenteen osalta koerakenteet toteutetaan käytännön rakennuskohteiden yhteydessä.

Tierakenteiden pitkäaikaiskäyttäytymistä seurataan tieverkolta valittujen koeteiden perusteella. Tällöin saadaan selville todellisista ilmastollisista ja liikenteellisistä rasitustekijöistä aiheutuva vaurioituminen.

#### **4.4.5 Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin**

Tutkimustekniikkaan liittyvillä projekteilla on yhteys rakenne-, materiaali-, mitoitus-, tuotanto- ja mittaustekniikkaan.

#### **4.4.6 Projektikuvaus**

##### Projekti MEN-1: Tutkimustekniikat

Tutkimuksessa hyödynnetään rasitustekijöihin ja mitoistustekniikkaan liittyviä teoreettisia laskelmia, joiden avulla analysoidaan erityyppisten rakenneratkaisujen riippuvuutta erilaisista rasitustiloista ja olosuhteista. Niiden avulla voidaan verrata myös eri rakennevaihtoehtojen keskinäistä soveltuvuutta. Laskelmilla ohjataan myös koerakenteiden ja niiden instrumentoinnin suunnittelua.

Teoreettisten laskentamallien tarkkuutta ja käyttökelpoisuutta arvioidaan laboratorio- ja koeratakokeiden sekä koeteiden tulosten perusteella. Tutkimuksessa selvitetään olemassa olevat tutkimuslaitteistot, minkä pohjalta tehdään tarveselvitys uusien laitteistojen hankkimiseksi. Erityisesti koetiekoneen osalta joudutaan tekemään erityisselvityksiä laitteistojen korkeiden kustannusten takia. Tutkimusmenetelmiin liittyvät selvitystyöt käynnistetään heti projektin alkuvaiheessa, jotta uusien laitteiden hankinta saadaan toteutettua mahdollisimman nopeasti.



## 5 TAVOITEKRITEERIT

Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelman tavoitekriteerit liittyvät tierakenteen toiminnallisten ominaisuuksien hallintaan, taloudellisuuteen sekä ympäristöön. Tavoitteiden toteutuminen merkitsee uuden rakenneteknologian kokonaisvaltaista hallintaa siten, että tutkimusohjelman tulosten hyödyntämisellä on mahdollista toteuttaa entistä edullisempia ja kestävämpiä sekä ympäristöystävällisempiä rakenteita. Tämän edellytyksenä on, että ohjelman tulokset kootaan systemaattiseksi järjestelmäksi, jossa jokaisen osa-alueen tuottamat tiedot voidaan liittää toimivaksi osaksi kokonaisuutta. Kuvassa 3 on esitetty periaatekuva tällaisesta järjestelmästä, jossa on myös kuvattu eri tutkimusprojektien liittyminen kokonaisuuteen.

### 5.1 Tierakenteen toiminnallisten ominaisuuksien hallitseminen

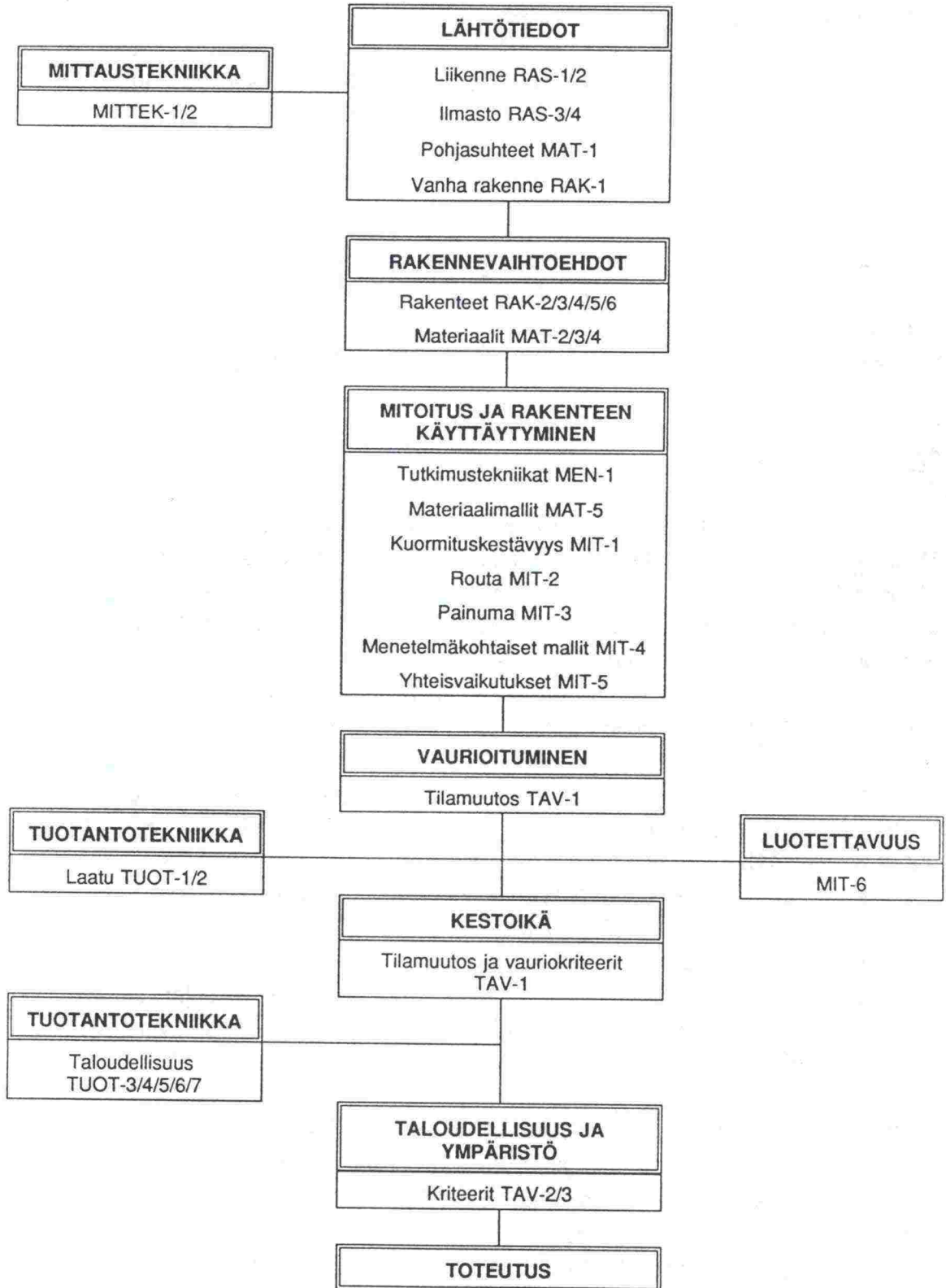
Tierakenteen toiminnallisilla ominaisuuksilla tarkoitetaan tierakenteen tasaisuutta, kuormituskestävyyttä, routivuutta sekä geoteknistä kantavuutta. Tavoitteena on, että suunnittelun lähtötietojen avulla voidaan rakennetekniikkaa, materiaalitekniikkaa sekä mitoitustekniikkaa hyväksi käyttäen tuottaa erilaisia rakenneratkaisuja, joita on mahdollista verrata toisiinsa tierakenteen toiminnallisten ominaisuuksien perusteella.

#### Projekti TAV-1:

#### Tierakenteen tilamuutos ja vauriokriteerit

Toiminnallisten ominaisuuksien hallitsemiseksi tarvitaan mallit, joiden avulla muutosten suuruudet voidaan arvioida ja kvantifioida muuntamalla minkä tahansa rakenneteknisen tekijän lähtötietoja (kuva 3). Mallit kehitetään erikseen tasaisuudelle (palvelutasolle), kuormituskestävyydelle, routavaurioille sekä painumille. Tämä tehdään siten, että laboratoriossa määritetään ensin materiaalien ominaisuuksia ja käyttäytymistä kuvaavat mallit. Laboratoriotulokset sidotaan rakennekokonaisuuteen koehalleissa tehtävillä koeratakokeilla (koetiekone), joissa koerakenteita vaurioitetaan hallituissa olosuhteissa. Tulosten perusteella kehitetään alustavat tierakenteen toiminnallisten ominaisuuksien muutoksia kuvaavat mallit, joista ilmenee mallien funktionaalinen muoto sekä vaurioitumista selittävät muuttujat. Mallien kertoimet kalibroidaan kenttäkokeista saaduilla kunto- ja vauriotiedoilla, joka perustuu koeteiltä ja -rakenteilta saatuihin tutkimustuloksiin. Kalibroinnissa otetaan huomioon rakentamisesta aiheutuvien laatuvahtelujen vaikutukset vaurioitumistodennäköisyyteen ja kestoikään.





Kuva 3: Periaatekuva kokonaisvaltaisesta tierakenteen suunnitteluun ja toteutukseen liittyvästä järjestelmästä sekä tutkimusprojektien keskinäisistä yhteyksistä.

Tutkimuksessa määritetään kunnostamiskriteerit eri toiminnallisille ominaisuuksille. Kunnostamiskriteerit yhdistettynä vauriomalleihin mahdollistavat rakenteen kestoiän laskennan. Kestoikä voidaan kuvata vuosina tai mitoitusiän kuormituskertojen lukumääränä.

## 5.2 Taloudellisuus

Tierakenteen toimivuutta ja taloudellisuutta tarkastellaan elinkaariajattelun perusteella. Tämä tarkoittaa sitä, että eri rakenneratkaisujen keskinäinen teknis-taloudellinen vertailu tehdään ottamalla huomioon pidemmän aikajakson kuluessa (esim. mitoitusikä) tierakenteelle aiheutuvat kokonaiskustannukset.

### Projekti TAV-2:

#### Taloudellisuuskriteerit

Kustannuksiin kuuluvat sekä tienpitäjän että tienkäyttäjän kustannukset. Tienpitäjän kustannuksia ovat mm. rakentamis- ja ylläpitokustannukset. Tienkäyttäjien kustannuksia ovat aika-, ajoneuvo- ja onnettomuuskustannukset sekä mahdollisesti peruskorjauksesta tai ylläpitotoimenpiteistä liikenteelle aiheutuvat ylimääräiset ajokustannukset. Kunnostamiskustannukset arvioidaan tierakenteen kestoiän perusteella, joka lasketaan tutkimuksessa kehitettävien tierakenteen toiminnallisia ominaisuuksia kuvaavien ennustemallien avulla.

Elinkaarianalyysin tuloksena pystytään arvioimaan rakennevaihtoehtojen vuosikustannukset, joiden perusteella rakenneratkaisut voidaan asettaa paremmuusjärjestykseen (esim. vuosikustannukset suhteutettuna kuormituskertalukuun). Esimerkiksi hyvälle pohjamaalle tehdyn kantavuudeltaan heikon rakenteen rakentamiskustannukset ovat alhaiset, mutta korjauskustannukset kalliit, mikä ei tee ratkaisusta välttämättä kokonaistaloudellisesti edullista. Vastaavasti heikon pohjamaan vahvistamatta jättäminen alentaa rakentamiskustannuksia, mutta myöhemmässä vaiheessa pohjamaasta aiheutuvien vaurioiden kunnostamiskustannukset saattavat olla erittäin suuret.

Elinkaaritarkasteluun perustuva analysointijärjestelmä mahdollistaa optimaalisen rakennevaihtoehdon suunnittelun siten, että tierakenteen pidemmän aikavälin kokonaiskustannukset ovat mahdollisimman alhaiset. Suunnittelun lähtökohtana voi olla tilanne, jossa eri rakenneosille käytetään erilaista mitoitusikää (esim. pohjarakenteiden mitoitusikä voi olla 100 vuotta, päällysrakenteen 20 vuotta ja kulutuskerroksen 5 vuotta). Lopullisen mitoitusiän valinta ja siihen liittyvät tekniset ratkaisut määritetään taloudellisuusanalyysin tuloksena kullekin kohteelle erikseen.

### 5.3 Ympäristö

#### Projekti TAV-3: Ympäristökriteerit

Ympäristölle asetettujen tavoitekriteerien avulla varmistetaan, että ympäristöllisesti arvokkaita maastokohtia ei tuhota ja luonnon maa-ainesten ottoa voidaan säästää korvaavien ja paikallisten materiaalien sekä vanhojen materiaalien (vanha tierakenne) lisääntyvällä käytöllä.

Tutkimuksessa kehitetään kriteerit, joiden perusteella voidaan arvioida ympäristön tilaa ottamalla huomioon mm. pohjaveden, pintaveden, tieympäristön sekä melun vaikutukset. Lisäksi kehitetään menetelmiä ja tekniikoita, joiden avulla tienrakennushankkeista aiheutuvat ympäristöhaitat voidaan minimoida.

### 5.4 Yhteydet muihin tutkimusprojekteihin

Tavoitekriteereillä on yhteys kaikkiin aikaisemmin esitettyihin projekteihin lähtötietojen ja rakenneteknologian osalta.

### 5.5 Tulokset

Tavoitekriteereihin liittyvät projektit on esitetty *taulukossa 8*.

Projektin TAV-1 tuloksena hallitaan tierakenteen tilamuutos toiminnallisten ominaisuuksien osalta sekä määritetään kunnostamiskriteerit. Projektin TAV-2 tuloksena on järjestelmä tierakenteen elinkaarianalyysin suorittamiseksi kustannusten ja kestoian perusteella. TAV-3 projektissa määritetään ympäristölliset tavoitekriteerit.

*Taulukko 8: Tavoitekriteereihin liittyvät tutkimusprojektit.*

Projekti	Nimi
TAV-1:	Tierakenteen tilamuutos ja vauriokriteerit
TAV-2:	Taloudellisuuskriteerit
TAV-3:	Ympäristökriteerit



## 6 KOTIMAINEN JA ULKOMAINEN TUTKIMUSTOIMINTA TPPT-ALUEELLA

Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelmassa otetaan huomioon tutkimusalueeseen liittyvät kotimaiset ja kansainväliset tutkimukset. Tämän avulla varmistetaan, että nykyinen tietous tulee hyödynnettyä mahdollisimman hyvin siten, että se muodostaa lähtökohdan tutkimusohjelman toteutukselle.

TPPT-projektiin liittyvää merkittävämpää kotimaista tutkimus- ja kehittämis-toimintaa on käynnissä tielaitoksen toimesta. Tutkimusprojektit on koottu tielaitoksen strategiseen ohjelmaan /2/. Geotekstiilejä tutkitaan teknillisen korkeakoulun johdolla laajassa tutkimushankkeessa. Myös ASTO-projektissa on selvitetty tien rakenteellisia kysymyksiä (TR 10). Tierakenteeseen liikenteestä aiheutuvia jännityksiä ja muodonmuutoksia on mitattu mm. Virttaan koerakenteella.

Tutkimusohjelmaan liittyvää kansainvälistä yhteistoimintaa ja tutkimusta tehdään eri maissa ja organisaatioissa. Näistä mainittakoon mm. seuraavat:

### OECD:

Rakenteiden instrumentointi liikennerasitusten mittaamiseksi ja rakenteiden nopeutetut vauriotutkimukset koetiekoneella.

### SHRP:

Yhdysvalloissa käynnissä oleva merkittävä ja laaja teiden rakenteellista kestävyyttä koskeva tutkimus, jonka tavoitteena on tien rakenteellisten vauriomallien kehittäminen. Aineistona on tieverkolta valitut koeosuudet sekä uudet koerakennetut kohteet. Tutkimuksen kesto on 20 vuotta. Pohjoismaissa on perustettu satelliittitutkimus, minkä tavoitteena on tutkimustulosten verifiointi ja kalibrointi paikallisiin olosuhteisiin.

### Mn/ROAD:

Minnesotan osavaltiossa on rakennettu erittäin hyvin instrumentoitu koetie, jossa seurataan rakenteiden vaurioitumista todellisessa liikennekuormituksessa. Tutkimuksen tuloksena saadaan vaurioitumismalleja tietyillä tutkittavilla rakenteilla (asfalttibetonipäällyste, betonipäällyste). Tutkimus tuottaa tietoa mm. heikkolaatuisten materiaalien käyttäytymisestä ja kestävyydestä (osa tutkittavista kantavan kerroksen materiaaleista ei vastaa Suomen laatuvaatimuksia rakeisuuden osalta).

**FEHRL:**

Organisaatio on eurooppalaisten tietutkimuslaitosten yhteistyöelin, joka suunnittelee yhteiseurooppalaista tiealan tutkimushanketta (SERP). TPPT-projektiin liittyviä tutkimushankkeita ovat mm. teiden rakenteellinen vaurioituminen (PAV-LIFE), akselipainojen mittaaminen (WIM-LOAD) sekä tiestön kunnan inventointilaitteita (PAV-MON) koskevat tutkimukset.

**PTL:**

Pohjoismaisen tietekillisen liiton puitteissa tehdään tietekniikkaan liittyviä nykytilaselvityksiä pohjoismaisena yhteistyönä.

**Muut tahot:**

Muita merkittäviä tutkimusorganisaatioita, joiden tietämystä voidaan käyttää hyväksi tutkimusohjelmassa, löytyy mm. Yhdysvalloista, Hollannista, Saksasta, Itävaltasta, Englannista, Belgiasta, Kanadasta ja Ranskasta.

## 7 AIKATAULU, BUDJETTI JA RESURSSIT

Tutkimuksen yleinen aikataulu on esitetty *kuvassa 4*. Tutkimusalueet on jaoteltu rakennetekniikkaan, mittaus- ja tutkimustekniikkaan, materiaalitekniikkaan, mitoitustekniikkaan ja tuotantotekniikkaan. Yhteenveto eri tutkimusaloista koostuvista projekteista on esitetty seuraavan sivun listauksessa.

Tutkimustulokset pyritään saamaan käytäntöön mahdollisimman nopeasti tutkimuksen eri vaiheissa. Mikäli jollakin tutkimuksen osa-alueella nykytietämys on korkealla tasolla, voidaan tietoa testata käytännössä hyvinkin nopeasti. Koetiet ovat yleensä luonteeltaan pitkäaikaisia seurantatutkimuksia. Niiltä voidaan kuitenkin saada nopeammin tuloksia esim. alimitoittamalla tutkittavat rakenteet (esim. Minnesotan koetien rakenteet on suunniteltu kestäämään 5 ja 10 vuotta). Tutkimuksen kustannusarvio on yhteensä 45,5 Mmk vuosina 1993 - 2000. Tämä jakaantuu siten, että vuonna 1993 käynnistettävien nykytilaselvitysten kustannusarvio on 3,5 Mmk ja muiden tehtävien osalta 6 Mmk/vuosi. Tämä ei sisällä koeteiden rakentamisesta eikä koetiekoneen hankinnasta aiheutuvia kustannuksia.

Tutkimuksen toteutuksesta vastaavat VTT, korkeakoulut, tielaitos, konsultit, urakoitsijat ja teollisuus. Myös ulkomaisia organisaatioita voidaan käyttää hyväksi tarvittaessa.

Vuosi	1993...	...1994 - 95...	...1996 - 97...	...1998 - 99...	...2000
	Nykytila	Laboratorio	Koerata / Mallikokeet	Koekäyttö / Koerakentaminen	Koetie / Seuranta
Rakennetekniikka					
Mittaus- ja tutkimusmenetelmät					
Materiaalitekniikka					
Mitoitustekniikka					
Tuotantotekniikka					
Budjetti mmk	3,5	12	12	12	6

Kuva 4: TPPT-tutkimusohjelman aikataulu ja budjetti.



*Listaus: Yhteenveto tutkimusprojekteista.*

Lähtötietoihin liittyvät tutkimusprojektit

- RAS-1: Liikennesäätösysteemi
- RAS-2: Tienpinnan ominaisuuksien vaikutukset liikennesäätöön
- RAS-3: Lämpötilamuutokset tienrakenteessa ja niiden mallintaminen
- RAS-4: Kosteustilan muutokset tienrakenteessa ja niiden mallintaminen
- MAT-1: Pohjamateriaalien toiminnalliset ominaisuudet
- RAK-1: Vanhan rakenteen toiminnalliset ominaisuudet

Rakennetekniikkaan liittyvät tutkimusprojektit

- RAK-2: Päällysrakenteet
- RAK-3: Pohjarakenteet
- RAK-4: Routasuojarakenteet
- RAK-5: Kuivatusrakenteet
- RAK-6: Parantamiskeinot

Materiaalitekniikkaan liittyvät tutkimusprojektit

- MAT-2: Materiaalitekniset mahdollisuudet
- MAT-3: Sidottujen materiaalien toiminnalliset ominaisuudet
- MAT-4: Sitomattomien materiaalien toiminnalliset ominaisuudet
- MAT-5: Materiaalimallit

Mitoitustekniikkaan liittyvät tutkimusprojektit

- MIT-1: Tienrakenteen kuormituskestävyyden mitoitus
- MIT-2: Tienrakenteen routamitoitus
- MIT-3: Tienrakenteen painumamitoitus
- MIT-4: Menetelmäkohtaiset mitoitusmallit
- MIT-5: Alus- ja päällysrakenteen yhteisvaikutuksen mallintaminen
- MIT-6: Luotettavuusanalyysit

## Tuotantotekniikkaan liittyvät tutkimusprojektit

- TUOT-1: Laadun vaikutus tierakenteen toiminnallisiin ominaisuuksiin
- TUOT-2: Laatuun vaikuttavat tekijät
- TUOT-3: Massatalousoptimoinnin kehittäminen
- TUOT-4: Ajoitusoptimoinnin kehittäminen
- TUOT-5: Koneiden ja menetelmien kehitystyö
- TUOT-6: Työ- ja liikenneturvallisuus sekä ympäristö
- TUOT-7: Urakkamuotojen käytön kehittäminen

## Mittaustekniikkaan liittyvät projektit

- MITTEK-1: Ainetta rikkomattomat menetelmät
- MITTEK-2: Ainetta rikkovat menetelmät

## Tutkimustekniikkaan liittyvä projekti

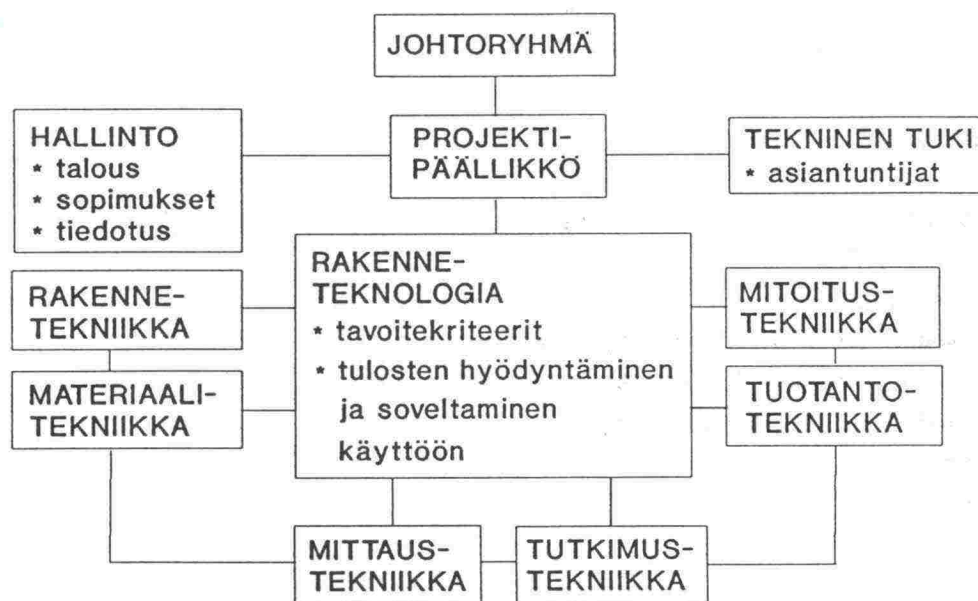
- MEN-1: Tutkimustekniikat

## Tavoitekriteereihin liittyvät projektit

- TAV-1: Tierakenteen tilamuutos ja vauriokriteerit
- TAV-2: Taloudellisuuskriteerit
- TAV-3: Ympäristökriteerit

## 8 ORGANISAATIO JA TUTKIMUSOHJELMAN KÄYNNISTÄMINEN

Tutkimusohjelman organisointi on esitetty *kuvassa 5*. Ehdotus perustuu ASTO:sta ja SHRP:sta saatuihin kokemuksiin.



*Kuva 5: Tutkimuksen organisaatio.*

Tutkimusorganisaation samoin kuin koko tutkimusohjelmankin tulee olla mahdollisimman kokonaisvaltainen ja hyvin linkitetty, jotta organisaatio voi toimia tarpeen mukaan joustavasti ja tehokkaasti. Ilman keskinäisiä yhteyksiä olevien sirpaletutkimusten avulla on mahdotonta saavuttaa merkittäviä tavoitteita. Tämä tarkoittaa myös sitä, että varsinaiset tutkimussuunnitelmat laaditaan asiantuntijaryhmissä em. kaavion mukaisesti eikä ulkopuolisten tekemien erillissuunnitelmien mukaan. Tutkimuksen ytimen muodostaa rakenneteknologian ryhmä, joka on tutkimusohjelman kokoava elin. Rakenneteknologiaa tukevat eri asiantuntijaryhmät tuottavat varsinaisen tutkimustiedon.

Tutkimusryhmiin valitaan riittävästi päätoimisia tutkijoita tutkimusyksiköiden/ryhmien ollessa riittävän suuria kokonaisuuksia. Tutkijoiden valinnassa otetaan huomioon ammatillisen pätevyyden lisäksi aikaisemmat näytöt projektitoimintaan osallistumisesta sekä kyvykkyys yhteistoimintaan ja tehokkaaseen työskentelyyn. Tutkimusryhmissä tulee olla edustajia eri organisaatioista, kuten tielaitos, VTT, korkeakoulut, konsultit ja teollisuus.



Järjestelmällinen taloushallinto ja joustavat sopimustekniikat helpottavat ohjelman läpivientiä.

Tutkimusohjelma käynnistetään perustamalla projektiorganisaatio, minkä jälkeen projektin johto asettaa kullekin ryhmälle kuuluvat tehtävät tavoitteineen. Tämän jälkeen asiantuntijaryhmät tekevät ehdotuksensa tutkimusten sisällöstä, kustannuksista, resursseista ja aikataulusta. Ehdotukset arvioidaan ja analysoidaan, minkä pohjalta laaditaan lopullinen yksityiskohtainen tutkimussuunnitelma. Seuraavassa on esitetty organisaation eri lohkojen asema ja päätehtävät:

Johtoryhmä:

- edustuksellinen
- valvoo suunnitelman toteutumista

Projektipäällikkö:

- vastaa tutkimuksen etenemisestä
- vastaa aikataulusta ja kustannuksista
- vastaa eri projektien sisällöstä
- vastaa tutkimuksen tasosta

Ryhmät:

1. Rakenneteknologia

- projektipäällikön vetämä yhteistoimintaryhmä (projektipäällikkö + muiden ryhmien vetäjät)
- ei ole varsinaisesti tutkimuksia suorittava ryhmä, mutta määrittää tavoitekriteerit ja tavoitteet eri projekteille ja laatii järjestelmät tavoitteiden mittaamiseksi
- valvoo ja ohjaa tutkimustulosten hyödyntämistä ja soveltamista käytäntöön

2. Rakennetekniikkaryhmä

- rakennetekniikan parissa työskentelevä asiantuntijaryhmä
- visioi, kartoittaa ja tekee alustavat kaavailut mahdollisista ratkaisuista
- valvoo rakennetutkimuksia

3. Materiaalitekniikkaryhmä

- materiaaliasioiden parissa työskentelevä asiantuntijaryhmä
- visioi tarvittavat materiaalitutkimukset
- valvoo materiaalitutkimuksia

4. Tuotantotekniikkaryhmä

- tuotantoteknisten asioiden parissa työskentelevä asiantuntijaryhmä
- tarkastelee tuotantotaloutta ja samalla esille tulevia rakenneteknisiä vaihtoehtoja ja niiden toteuttamista
- laadunohjausasiat ja rakennuttamistekniikat

5. Tutkimustekniikkaryhmä

- vastaa tutkimusmenetelmistä ja -laitteista, myös niiden saatavuudesta ja laadusta
- tarkastelee myös menetelmien soveltuvuutta ohjelman kokonaisuuden kannalta

6. Mittaustekniikkaryhmä

- vastaa mittaustekniikan ohjelman mukaisista kehitystehtävistä

7. Mitoitustekniikkaryhmä

- päätehtävä eri asioiden mallinnuksessa ja mitoituksessa
- luotettavuusanalyysien teko

8. Hallinto

- talous-, sopimustekniikka- ja tiedotusasiat
- tulosten markkinointiin ja koulutukseen liittyvät asiat

9. Tekninen tuki

- projektipäällikön tukena toimiva riippumaton asiantuntijajoukko

## 9 KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Teiden pohja- ja päällysrakenteet- tutkimusohjelma. Asiantuntijaryhmien raportit. Tutkimusraportti 126. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo 1992.
2. Tutkimus- ja kehittämistoiminnan (T&K) strategia ja ohjelma. Tielaitos, Tiehallitus. Helsinki 1991.



## TUTKIMUSOHJELMAN ORGANISAATIO JA KOKOONPANO

Tutkimusohjelman laadintaa ovat valvoneet ja ohjanneet johtoryhmä sekä ohjausryhmä. Tutkimusohjelma on kirjoitettu projektiryhmissä. Ryhmien kokoonpanot ovat seuraavat:

## JOHTORYHMÄ:

Va. apul.joht.	A. Valkeisenmäki (p.j.)	TIEH/Geopalvelukeskus
DI	E. Perälä	Tielaitos/Oulun tiepiiri
DI	J. Rahiala	Tielaitos/Turun tiepiiri
DI	J. Kosonen	Tielaitos/Kymen tiepiiri
DI	K. Lehtonen	TIEH/Suunnitteluosasto
Ylitark.	R. Orama	TIEH/Geopalvelukeskus
DI	H. Suni	TIEH/Oulun kehitys- yksikkö
DI	T. Kallionpää (siht.)	TIEH/Geopalvelukeskus

## OHJAUSRYHMÄ:

Prof.	A. Saarela (p.j.)	VTT/TGL
Prof.	E. Ehrola	Oulun yliopisto
Toim.joht.	O. Laine	Pekkinen Oy
Apul.prof.	E. Slunga	Teknillinen korkeakoulu
Os.pääll.	J. Heikkilä	Viatek Oy
TkL	H. Jämsä (siht.)	VTT/TGL

## PROJEKTIRYHMÄT:

## 1. Sidotut rakenteet

TkL	M. Huhtala*	VTT/TGL
Vt. tutk.prof.	H. Kukko	VTT/RAM
DI	R. Turunen	Oulun yliopisto

## LIITE 1/2

### 2. Sitomattomat rakenteet

TkL	J. Belt *	Oulun yliopisto
DI	J. Törnqvist	VTT/TGL
TkL	P. Kolisoja	Tampereen teknillinen korkeakoulu

### 3. Tien pohjarakenteet

TkL	P. Vepsäläinen *	Y-Suunnittelu Oy
DI	H. Rathmayer	VTT/TGL
DI	P. Lahtinen	Viatek Oy
DI	R. Peltari	Tielaitos/Hämeen tiepiiri
Ins.	J. Ilmonen	Tielaitos/Uudenmaan tiepiiri

### 4. Routiminen

DI	H. Mäkelä*	Viatek Oy
TkT	S. Saarelainen	VTT/TGL
Ylitark.	R. Orama	TIEH/Geopalvelukeskus

### 5. Kuivatustekniikat

DI	H. Onninen *	VTT/TGL
DI	V. Laine-Juva	Vesi-Hydro Oy
Ins.	A. Pöyhönen	Tielaitos/Kuopion tiepiiri

### 6. Kohtien 1-5 yhteistoiminta (perussuunnitelman laadinta)

TkL	H. Jämsä *	VTT/TGL
DI	J. Törnqvist	VTT/TGL
TkL	J. Belt	Oulun yliopisto
Prof.	A. Saarela	VTT/TGL

Em. henkilöiden lisäksi kirjoittamiseen on osallistunut DI Reijo Helaakoski (Suunnittelukolmio Oy) luotettavuustarkasteluun liittyvän tekstin osalta.

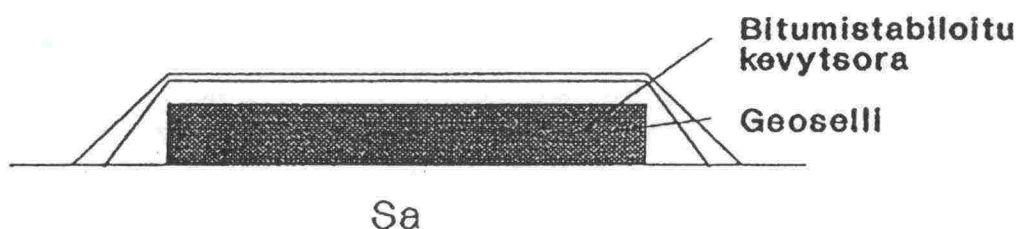
\* vastuuhenkilö

ESIMERKKEJÄ KEVENNETYISTÄ RAKENNERATKAISUISTA ( $A = I_b + II_b$ )

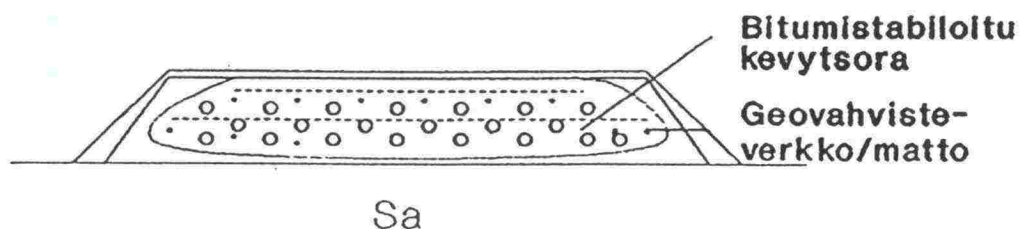
## A SAVIPEHMEIKKÖ/MATALA PENGERR

### GEOVAHVISTEISET KEVENNETYT RAKENTEET

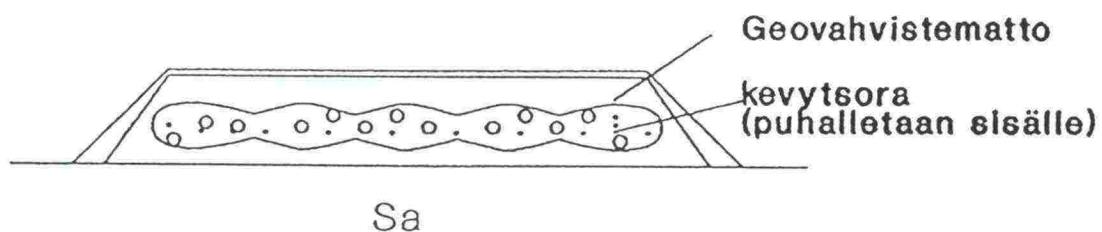
#### A1 GEOSELLIRAKENNE



#### A2 VAAKAHAVVISTERAKENNE



#### A3 PATJARAKENNE

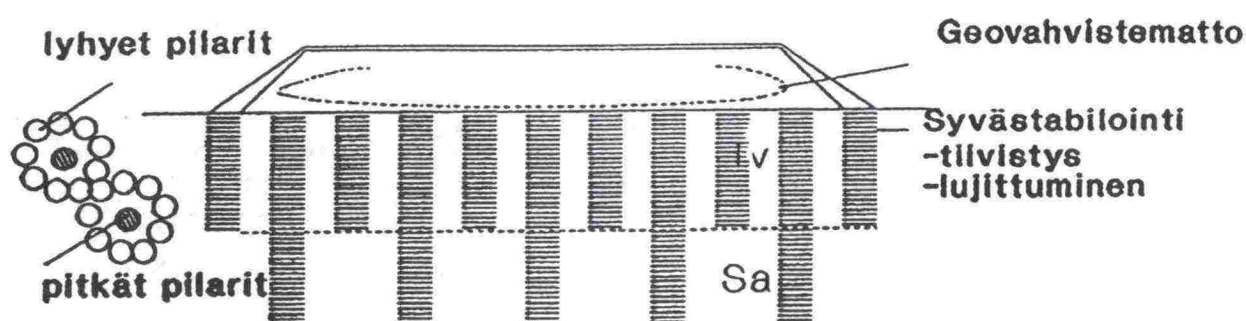




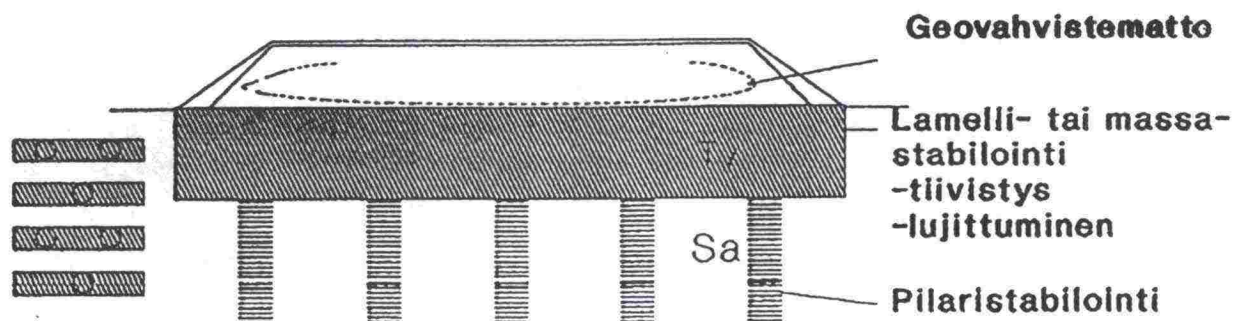
## ESIMERKKEJÄ SYVÄSTABILOINTI- JA HOLVIRAKENTEISTA

## E TURVE- JA SAVIPEHMEIKÖT

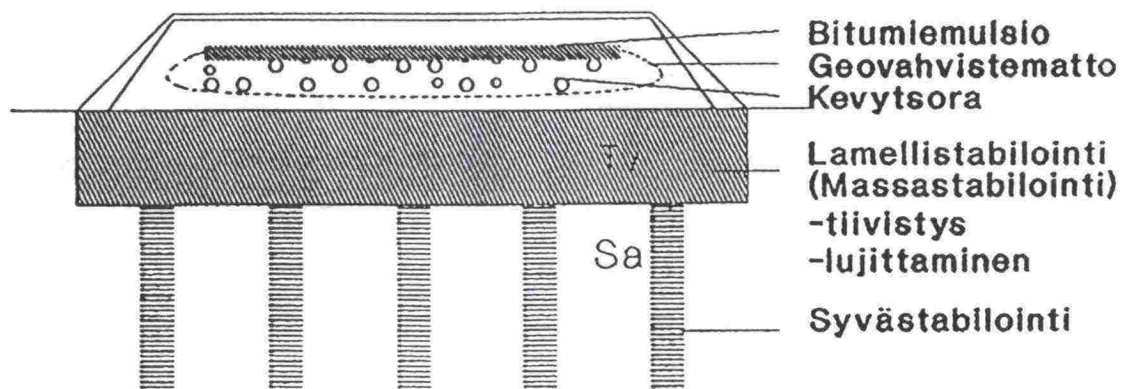
## E1 MATALA PENTER: SYVÄSTABILOINTI-GEOVAHVISTEET



## E2 MATALA PENTER: LAMELLI- JA PILARISTABILOINTI



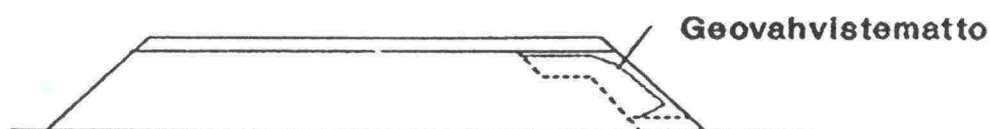
## E3 KORKEA PENTER: SYVÄSTABILOINTI +KEVYTSORA+GEOVAHVISTEET



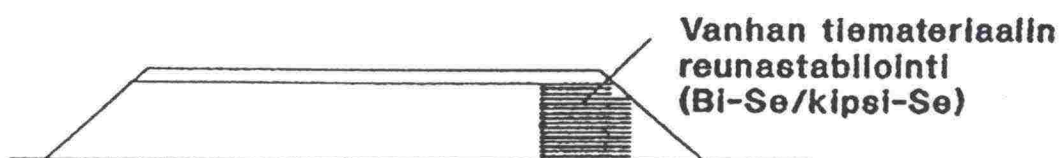
ESIMERKKEJÄ VANHAN TIEN LEVENTÄMISESSÄ KÄYTETYISTÄ RAKENTEISTA

## G VANHAN TIEN REUNOJEN VAHVISTAMINEN

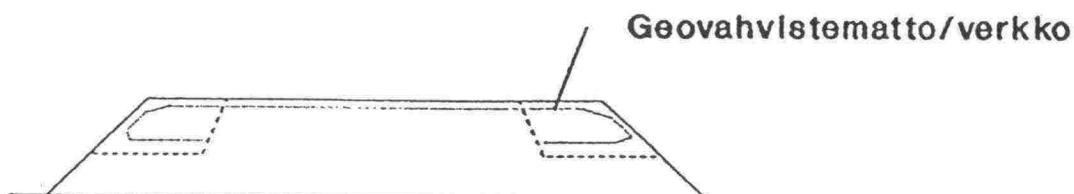
### G1 GEOVAHVISTEINEN REUNAN VAHVISTUS



### G2 REUNAN VAHVISTAMINEN STABILOIMALLA



### G3 LEVEÄ GEOVAHVISTE



## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 44/1992 Seurannan sisällyttäminen tiehankkeisiin -luonnonolot. TIEL 3200097
- 45/1992 Liikennevalojen kunnossapitotutkimus. TIEL 3200098
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 47/1992 Kestopäälysteteiden kunnon piilorakennemalli. TIEL 3200100
- 48/1992 Tiehankkeiden sosioekonomisten vaikutusten arviointi, arviointimenettelyn selvitys. TIEL 3200101
- 49/1992 Pääväylät kaupunkialueilla; Poikkileikkaus. TIEL 3200102
- 50/1992 Tiemerkintämassojen käyttökelpoisuus. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 51/1992 Roadside Restareas and Restarea Structures and Equipment. TIEL 3200041E
- 52/1992 Kuntien liikenneturvallisuus vuosina 1982-1990. TIEL 3200103
- 53/1992 Henkilöautojen omistus, ajoneuvosuoritteet ja käyttöalueet. TIEL 3200104
- 54/1992 Selvitys liikennevalojen toiminnasta vähäisen liikenteen aikana. TIEL 3200105
- 55/1992 Kiertoliittymän liikenteelliset vaikutukset; ennen-jälkeen -tutkimus Lammin maantieliitymässä. TIEL 3200106
- 56/1992 Kaupunkimuotoilun historia, nykyaikaisen tie- ja liikennesuunnittelun historiallinen tausta. TIEL 3200107
- 57/1992 Teiden suolauksen aiheuttamien ympäristövahinkojen korvaaminen. Kymen tiepiiri
- 58/1992 Teknologian siirto; Bauma 1992 -messut. TIEL 3200108
- 59/1992 Reunapaalujen vaikutus ajokäyttäytymiseen ja liikenneonnettomuuksiin. TIEL 3200109
- 60/1992 Rautasaostuman aiheuttama salaojan tukkeutuminen ja toimenpiteet tukkeutumisen estämiseksi. TIEL 3200110
- 61/1992 Liityntäliikenteen mallit. TIEL 3200111
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. TIEL 3200112
- 63/1992 Tulevaisuuden ennustamista vai tulevaisuuden tekemistä? Ympäristö-ongelmien haasteet tielaitoksen tulevaisuudentutkimukselle liikenne- ja ympäristöpolitiikan näkökulmasta. TIEL 3200113
- 64/1992 Bitumiemulssiokoetiet. TIEL 3200114
- 65/1992 Liikenteen ja maankäytön vuorovaikutus vt 3:lla välillä Helsinki-Tampere. TIEL 3200115
- 66/1992 Kouvolan pohjoisen ohikulkutien vaikutukset maankäyttöön. TIEL 3200116
- 67/1992 Keskushallinnon organisaation uudistaminen, loppuraportti. TIEL 3200117

ISBN 951-47-6846-9  
ISSN 0788-3722  
TIEL 3200118